

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh zařízení pro stáčení plechového pásu

Design of Sheet Metal Reeling Equipment

Student:

Bc. David Pacák

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

Ostrava 2018

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Pacák**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství**  
Specializace: **20 Výrobní stroje a zařízení**  
Téma: **Návrh zařízení pro stáčení plechového pásu**  
**Design of Sheet Metal Reeling Equipment**  
Jazyk vypracování: **čeština**

### Zásady pro vypracování:

Proveďte nový konstrukční návrh pracoviště automatické linky, které bude vykonávat stáčení a následné svaření ocelového pásu. Vstupní ocelový pásek má výšku 17,8 mm a tloušťku 0,4 mm. Základní stáčený průměr je 600 mm s možností variabilního nastavení průměru v rozsahu  $\pm 80$  mm. Zpracujte analýzu současného stavu stávajícího navrhovaného pracoviště. Vytvořte koncepční návrhy možných variant řešení. Vyberte nejlepší variantu a proveďte kompletní návrh v 3D modeláři. Navrženou konstrukci doplňte návrhovými a kontrolními výpočty. Zpracujte výkresovou dokumentaci v rozsahu dle dohody s vedoucím práce.

### Seznam doporučené odborné literatury:


KALAB, K.: *Části a mechanismy strojů pro bakaláře: Části pohonu strojů*. 1. vydání VŠB-TU Ostrava, 2007, 91s. ISBN 978-80-248-1860-3  
DEJL, Z.: *Konstrukce strojů a zařízení I. Spojovací části strojů. Návrh. Výpočet. Konstrukce*. Montanex a.s. Ostrava, 2000, ISBN 80-7225-018-3  
MORAVEC, V., HAVLÍK, J.: *Výpočet a konstrukce strojních dílů*. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0878-1  
NĚMČEK, M.: *Řešené příklady ČaMS Spoje*. 2. vydání. Skripta VŠB-TU Ostrava, 2008, ISBN 978-80-248-1782-8

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018

  
doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne: 17.4. 2018




Bc. David Pacák

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé kvalifikační práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne: 17.4. 2018



---

Bc. David Pacák

Nádražní 314

Senice na Hané

783 45

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

PACÁK, D. *Návrh zařízení pro stáčení plechového pásu*: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2018, 59 s. Vedoucí práce: Kubín, T.

V této diplomové práci je řešen konstrukční návrh zařízení pro stáčení plechového pásu, který umožňuje stáčení průměru 600 mm o variabilitě  $\pm 80$  mm s konstantní tloušťkou a šířkou pásu 17,8x0,4 mm. Konstrukční návrh má za cíl pracovat s větší přesností a ve vyšším taktu oproti stávajícímu zařízení. První část práce se zabývá analýzou současného stavu zařízení. Další část je zaměřena na konstrukční řešení zařízení pomocí stáčecího mechanismu. Následující kapitoly jsou zaměřeny na konstrukci jednoosých podavačů montážních plechů a na konstrukci rámu zařízení. Součástí je i pevnostní analýza rámu.

## ANNOTATION OF THESIS

PACÁK, D. *Design of Sheet Metal Reeling Equipment*: Thesis. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2018, 59 pg. Thesis head: Kubín, T.

In this thesis is solved the design of the sheet metal reeling equipment, which allows reeling of a diameter of 600 mm with a variable thickness of  $\pm 80$  mm with a constant thickness and a width of 17.8 x 0.4 mm. The design of the proposal aims to work with greater precision and higher duty cycle than existing equipment. The first part deals with the analysis of the current state of the equipment. The next part focuses on the design of the device by means of a reeling mechanism. The following chapters are dedicated to the construction of uniaxial feeders of mounting plates and the construction of the frame of the equipment. Part of this is also the strength analysis of the frame.

## Obsah

Úvod.....	8
1 Analýza současného stavu .....	9
1.1 Použití konečného produktu .....	11
1.2 Odvíjecí zařízení, rovnací zařízení a střížný nástroj.....	12
1.3 Nosný rám svařečky a podlaha .....	14
1.4 Sestava podstavce a svařovací pozice .....	15
1.5 Otočná ramena .....	17
1.6 Svařovací hlava.....	19
1.7 Odváděcí skluz .....	22
1.8 Podávací zařízení montážních plechů.....	23
1.9 Shrnutí aktuálního stavu .....	25
2 Koncepční návrhy .....	26
3 Popis konstrukce nového zařízení .....	29
3.1 Konstrukce stáčecího mechanismu.....	31
3.2 Popis konstrukce rámu a svařovací hlavy.....	34
3.3 Konstrukční úpravy na stávajícím zařízení .....	37
3.4 Podávací zařízení druhé svařovací pozice montážního plechu .....	41
3.5 Podávací zařízení pro svařování druhé a třetí pozice montážního plechu.....	44
4 Pevnostní a kontrolní výpočty .....	48
4.1 Kontrolní výpočet zatížení vertikálního pohonu .....	48
4.2 Pevnostní kontrola rámu .....	50
4.3 Modální analýza rámu .....	52
5 Závěr .....	56
6 Seznam použité literatury .....	57

## Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Název	Jednotka
F	Síla	[N]
$F_t$	Gravitační síla	[N]
G	Tíhová síla	[N]
I	Elektrické napětí	[A]
L	Déla	[mm]
$M_y$	Momentové zatížení	[N.m]
$M_{yMax}$	Dovolené momentové zatížení	[N.m]
T	Perioda	[s]
U	Elektrický proud	[V]
a	Zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
f	Frekvence	[Hz]
m	Hmotnost	[kg]
p	Tlak	[Pa]
t	Čas	[s]
t	Teplota	[°C]
v	Rychlost	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v_n$	Rychlost náběhu teplot	[°C.s <sup>-1</sup> ]
$\sigma$	Napětí	[MPa]

## Úvod

Automatizace a robotizace pracovišť je dnes již nedílnou součástí velkosériových výrobních zařízení a výrobních linek. Pro tyto účely se aplikují různá konstrukční řešení strojních celků, ať už pomocí robotických ramen nebo kombinací přímočarých či otočných pohonů, které mohou být poháněny pneumaticky nebo elektricky. Cílem je navyšování výrobních kapacit jednotlivých zařízení a zároveň dosáhnout co nejvyšší výrobní přesnosti a kvality bez zásahu lidského faktoru do výrobního procesu.

Diplomová práce vznikla na podnět společnosti zabývající se výrobou domácích spotřebičů, kde automatizace pracovišť tvoří podstatnou část výrobního procesu pro naplnění výrobních požadavků. V této firmě pracuji již pátým rokem na oddělení technické přípravy výroby, jehož součástí je i konstrukce jednoúčelových strojů a přípravků. Nicméně tato společnost si však nepřeje, aby v této práci bylo uváděno celé její jméno.

Ve svojí práci se budu zabývat právě touto problematikou, kde hlavním úkolem bude navrhnout automatizované pracoviště pro stáčení a následné svaření ocelového pásu. Při návrhu nového konstrukčního řešení budu vycházet z provozních závad existujícího zařízení. V první části práce se budu zabývat analýzou současného stavu, na kterou již bude navazovat konkrétní konstrukční řešení. Konstrukční řešení nového stroje má za cíl pracovat v současném i navýšeném taktu výroby při co nejvyšších požadavcích na přesnost.

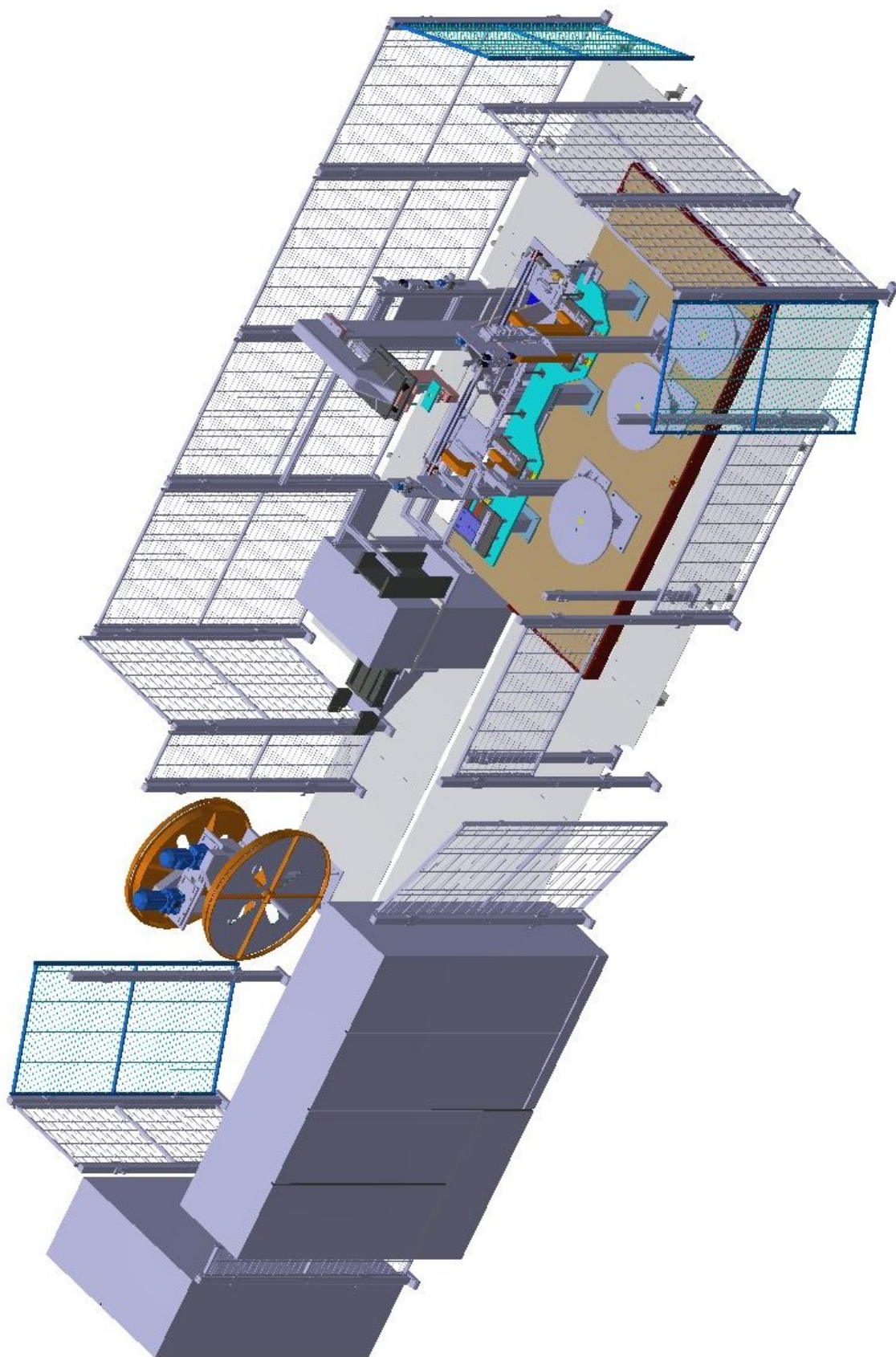


## 1 Analýza současného stavu

Současné zařízení pracuje na principu dvou, pneumaticky ovládaných ramen, které odebírají z naváděcího žlabu připravený polotovár ke stočení a následnému svaření ve svařovací hlavě.

Vstupní materiál je od odvíjecího a rovnacího zařízení podáván do střížného nástroje. Ze střížného nástroje je vtlačován do naváděcího žlabu. Z tohoto žlabu je následně ramena a jejich otáčivým pohybem podán do svařovací hlavy, svařen a po skluzu odveden na odběrové místo. Ramena jsou na jednom konci uložena v ložiscích a na druhém konci opatřena pneumatickými čelistmi pro uchycení připraveného materiálu z naváděcího žlabu. Zavírají se současně, nebo postupně v závislosti na typu aktuálně vyráběného produktu. Před podáním do svařovací hlavy, jsou k pásce přivařeny montážní plechy, které jsou podávány přímočarým pohonem z vibračních bubnů. Vstupní materiál pásce je z nerezové oceli o tl. 0,4 mm, výšce 17,8 mm. Požadovaný stočený průměr je pak  $600 \pm 80$  mm. Během procesu stáčení nedochází u vstupního materiálu k překročení meze kluzu, což znamená, že nevznikají trvalé deformace. Výsledný produkt je pak relativně poddajný. Finální tvar je získán po nasazení na navazující komponentu během montáže.

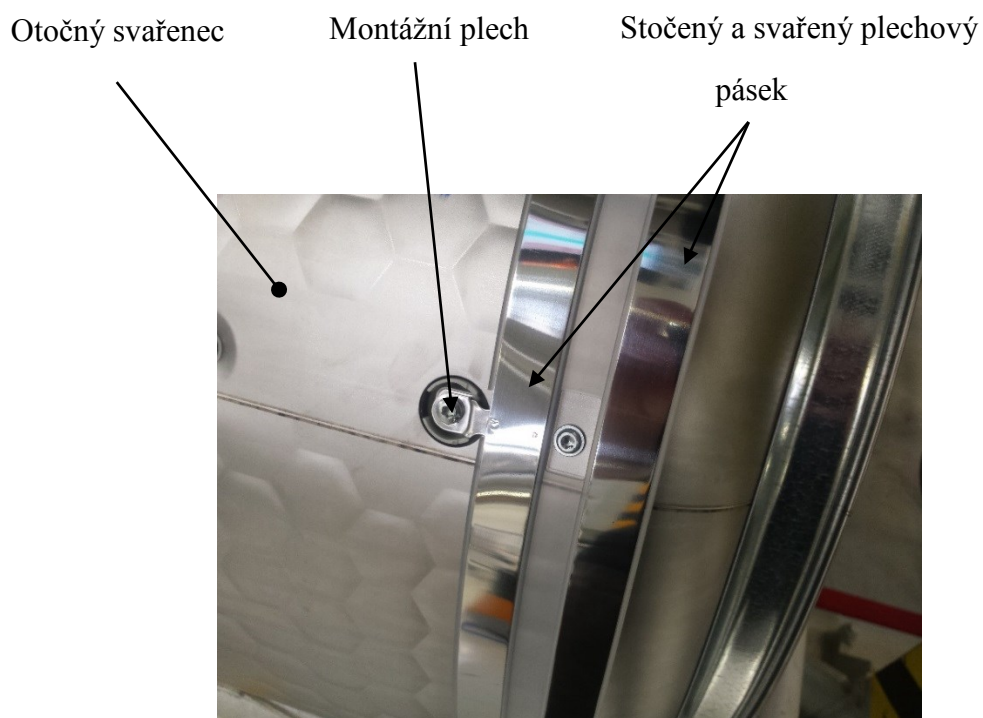
Mezi zásadní problémy současného řešení patří časté zásahy obsluhy z důvodu seřízení různých aretačních šroubů, špatná přesnost pneumatických podavačů a otřepy vzniklé ve střížném nástroji při dělení vstupního materiálu – viz obr. 1. Všechny výše zmíněné problémy mají negativní dopad na výrobní plán celého zařízení a dalších navazujících operací.



Obr. 1 – Neúplný model původního zařízení

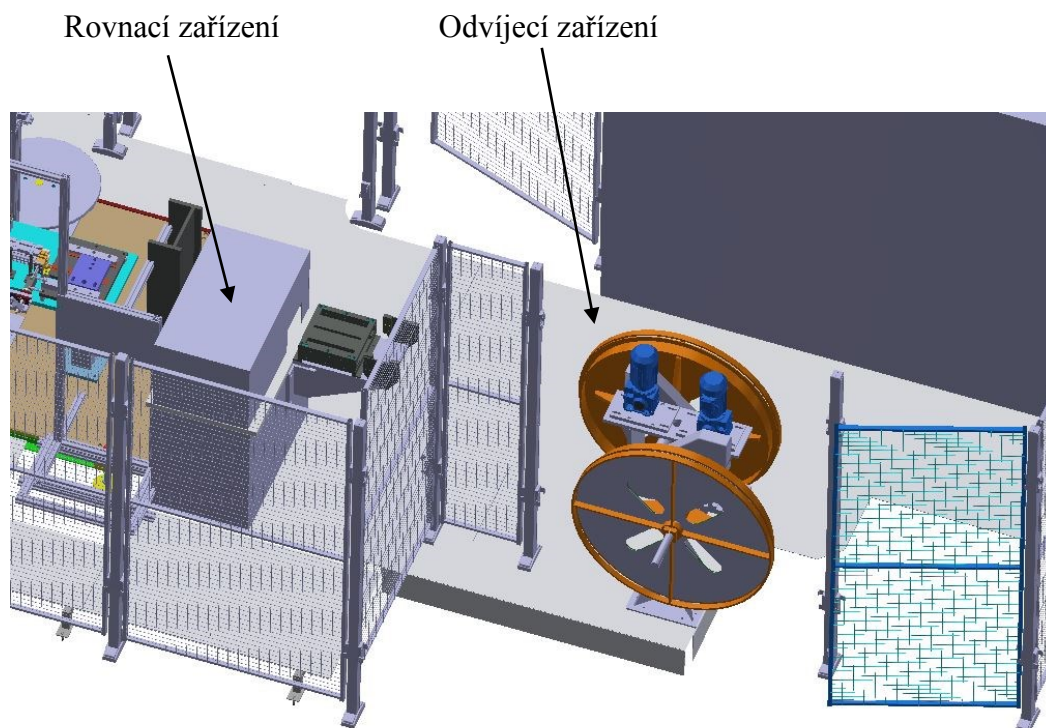
## 1.1 Použití konečného produktu

Finální produkt stočeného plechového pásu slouží po instalaci k přenosu informací z otočné do pevné části zařízení. Pásky se instalují vždy dva v páru plus a minus pro následné připojení čidla a přenosu informací, čehož plyne, že je z elektricky vodivého materiálu. Funkce je taková, že svařený pásek je navlečen na rotační svařenec přístroje z vnější strany a přes montážní plech sešroubován se žebrem uvnitř bubnu. Na pásek, který je z vnější strany, dosedají na pružině uložená čidla, které udržují, neustálý kontakt s otáčejícím se bubnem uvnitř přístroje a mohou tak neustále přenášet informace o aktuálním stavu uvnitř bubnu. Těmito informacemi se rozumí teplota, vlhkost a další možné vlastnosti. Hotový svařenec je tvarově poddajný, konečný tvar získá až po instalaci na navazující komponentu – viz obr. 2.



Obr. 2 – Svařenec

## 1.2 Odvíjecí zařízení, rovnací zařízení a střižný nástroj



Obr. 3 – Pohled na část původního zařízení

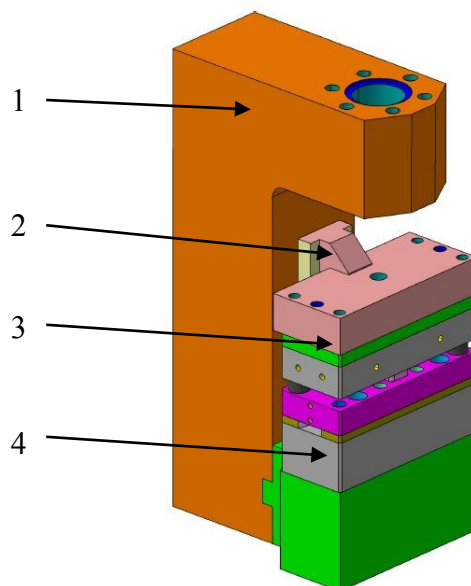
Celá tato sestava má za úkol zásobovat stáčecí zařízení přesnou délkou vstupního materiálu – viz obr. 3.

Odvíjecí zařízení se skládá ze dvou horizontálně uložených otočných kol – viz obr. 3, které jsou zády k sobě na otočném stojanu. Jeden slouží k odvíjení a druhý k doplňování a to tak, že zrovna nepoužívaný kotouč zasahuje svojí pozicí mimo oplocení a je možnost doplnit materiál. Pokud dojde materiál, jednoduše otočením kolem vertikální osy se mezi sebou kola vymění a výroba může pokračovat.

Rovnáčící zařízení následuje hned za odvíjecím zařízením. Jedná se o soustavu rovnacích válců poháněných servomotorem, kterého se využívá k podávání přesné délky vstupního materiálu. Celé toto zařízení je dodáno externí firmou, proto se jím nehodlám více zabývat.

## Střížný nástroj

Úkolem střížné stanice je dělení podávaného materiálu a stříhání naváděcích otvorů do pásu. Naváděcí otvor má průměr 6 mm, ale v pásu je vystříhován jen půlkruh. Tento půlkruh slouží k přesnému uchycení podávacím rameny, v jejichž čelistech jsou kruhové výstupky.



Obr. 4 – Střížný nástroj

*1 – Rám, 2 – Vedení, 3 – Střížník, 4 – Střížnice*

Klasicky se tento nástroj skládá ze střížníku, střížnice, matrice, navádění a přidržovače. Navádění je zde řešeno kluzně ve drážce což má často za příčinu vybočení střížníku a tudíž i vzniklé otřepy.



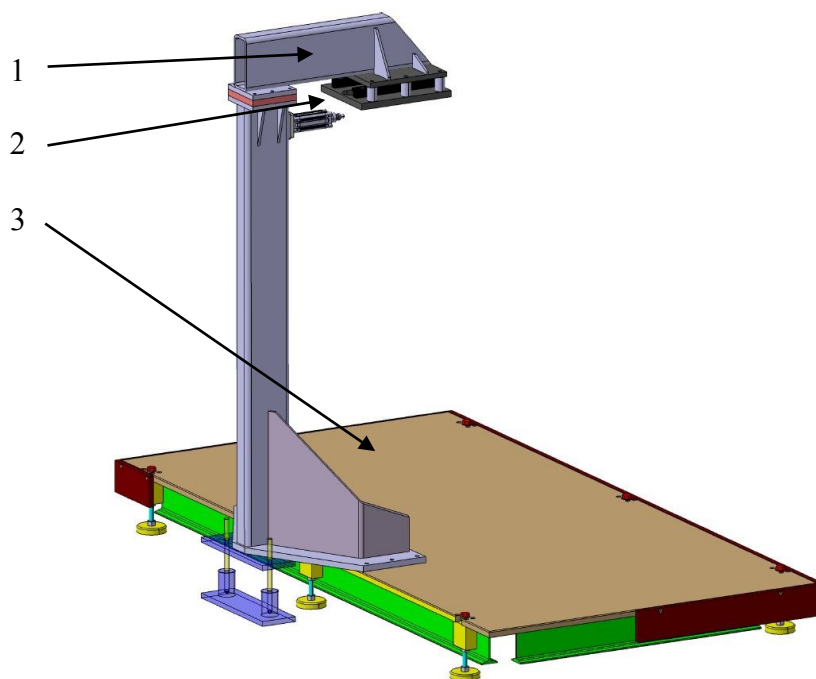
Obr. 5 – Vzniklý otřep na děleném materiálu



### 1.3 Nosný rám svářečky a podlaha

Jedná se o závěsnou svařovanou konstrukci, z profilů obdélníkového průřezu o rozměrech 200x100 mm, na které je zavěšena svařovací hlava. V závěsné části se nachází dvě desky, mezi kterými jsou kluzné segmenty, v nichž se pohybuje svařovací hlava, které se budu věnovat v další části. Ve spodní části se rám rozšiřuje, aby nedošlo ke ztrátě stability. Rám jako takový nedisponuje žádnými vadami, které by měly za příčinu jakékoliv výrobní nepřesnosti, nicméně nepočítám s dalším využitím této konstrukce.

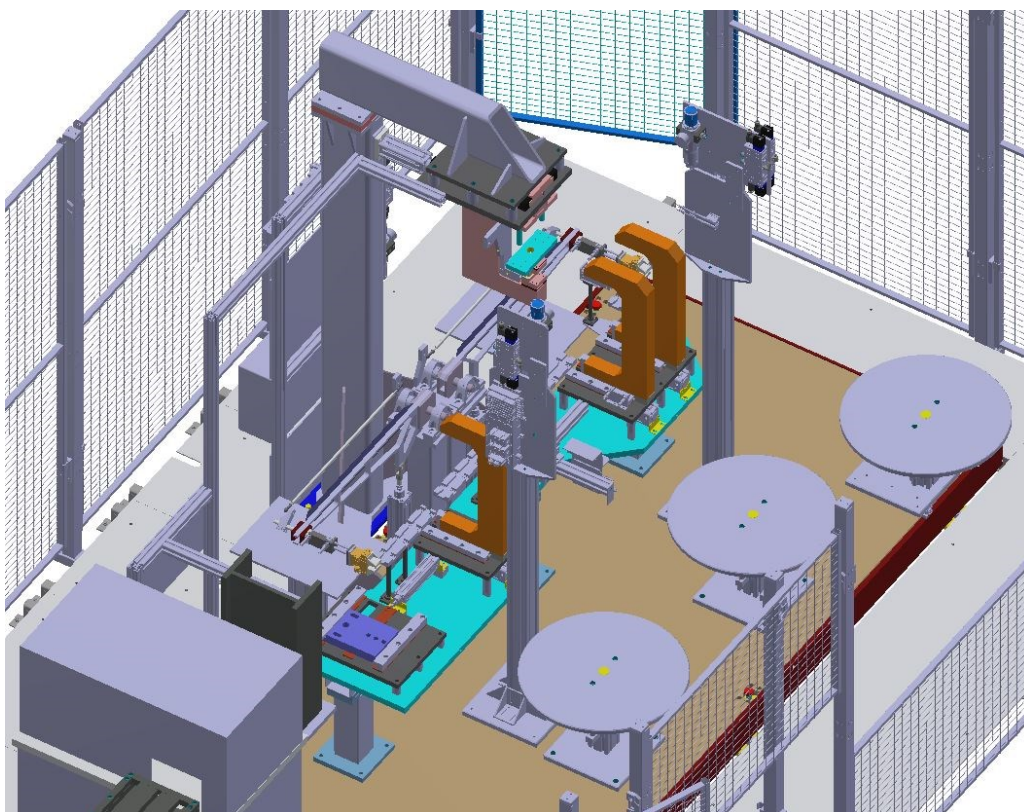
Důležitou součástí, která mi dále značně učiní práci jednodušší je ocelová podlaha zpevněna konstrukčními profily „I“, kterou bych rád využil jako základnu pro odměření při instalaci nových komponent.



Obr. 6 – Nosný rám svářečky a podlaha

*1 – Nosný rám, 2 – Původní držák svařovací hlavy, 3 – Vyztužená podlaha*

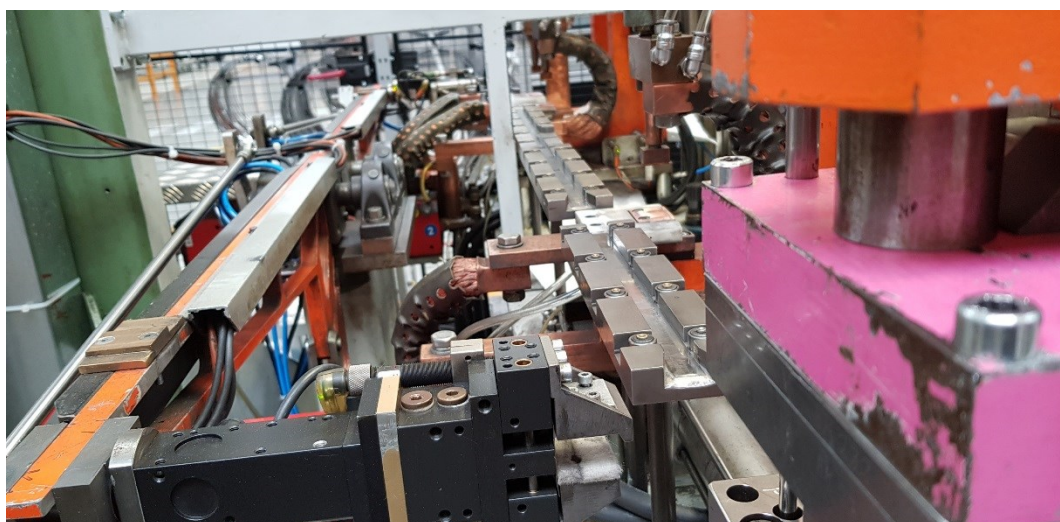
## 1.4 Sestava podstavce a svařovací pozice



Obr. 7 – 3D pohled na původní pracoviště

### Podstavec s naváděcím žlabem

Skládá se z ocelové desky, která je podepřena ocelovými profily. Na horní ploše jsou na podpěrách uloženy segmenty naváděcího žlabu o celkové délce 1615 mm. Pracovní plocha žlabu je ve stejné výšce jako výstup ze střížného nástroje.



Obr. 8 – Naváděcí žlab původního zařízení

## Svařovací pozice dvě, tři a čtyři

Na každé z těchto svařovacích pozic dochází k přivaření montážního plechu k pásku, který je přiveden v podávacím žlabu. Každá pozice má přesně danou vzdálenost mezi sebou tak aby po přivedení celé délky vstupního materiálu mohl být přivařen montážní plech na přesnou pozici a bez další manipulace s ocelovým páskem mohlo dojít k jeho svaření ve svařovací hlavě. V praxi to znamená, že druhá pozice je umístěna hned za střižným nástrojem. Třetí a čtvrtá pozice jsou na opačném konci naváděcího žlabu – viz obr. 7.

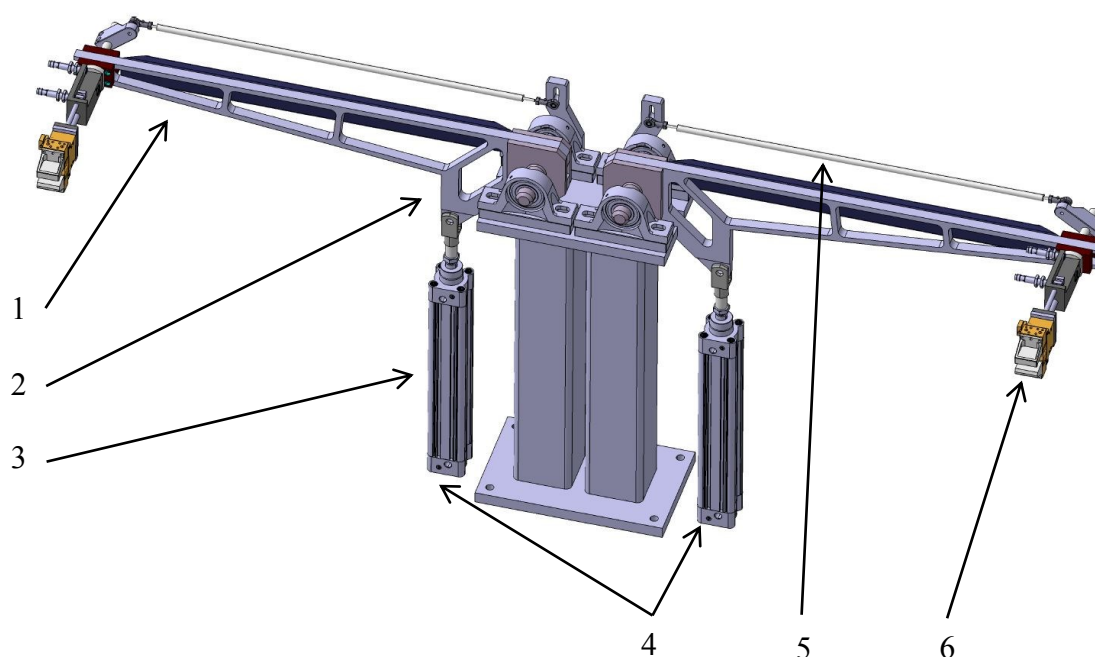
Konstrukčně se jedná o ocelové konzole tvaru „C“, do kterých je přiveden montážní plech ve směru kolmém na podávací žlab a tudíž i na vstupní ocelový pásek. Tyto konzole jsou uloženy posuvně pro pohyb ve dvou pozicích, pohyb zajišťuje pneumatický válec Festo [1]. Je to z důvodu toho aby se vždy uvolnil prostor pro odběr připraveného pásku otočnými rameny, ke kterým se dostanu v další kapitole.



Obr. 9 – Přivařený montážní plech



## 1.5 Otočná ramena



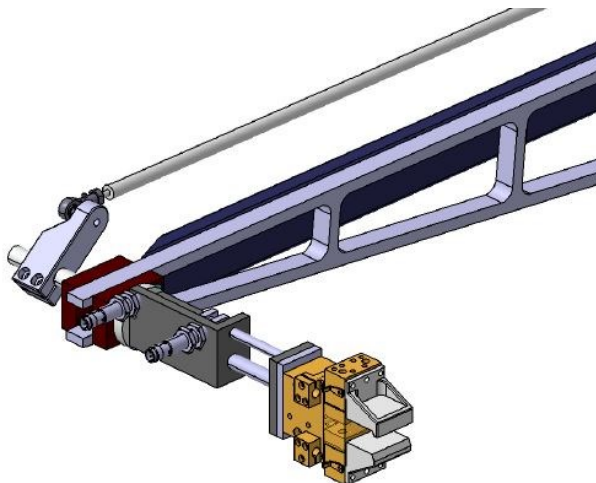
Obr. 10 – Stáčecí ramena

*1 – Nosník ramene, 2 – Ložiskové domky, 3 – Rám, 4 – Pneumatické válce [1], 5 – Pneumatické upínky, 6 – Stavěcí tyč*

Ramena jsou ve výchozí poloze vodorovně – viz obr. 10 a při uchycení pásku se zavřou o devadesát stupňů. Stavěcí tyč při otočném pohybu pomocí patky pootočí pneumatickou upínkou taktéž o devadesát stupňů, čímž dojde ke stočení pásku do svařovací hlavy.

Pokud je vyráběn základní typ pásku, obě ramena se zavírají současně. V případě, že probíhá výroba typu, který je delší než je rozpětí ramen a délka vodící drážky probíhá proces výroby tak, že druhé rameno uchopí konec pásku a zavře se do svářečky, zbylá délka je potom dotlačena podávacím zařízením do drážky tak aby ve finále vznikl požadovaný průměr. Následně je pásek uchopen prvním ramenem a podán do svařovací hlavy a svařen. Aby nešlo k posunu, nebo jakémukoliv vychýlení pásku při podávání zbylé délky je materiál po oddělení ve střižném nástroji přidržen svařovací elektrodou na pozici dvě, dokud není uchopen prvním ramenem.

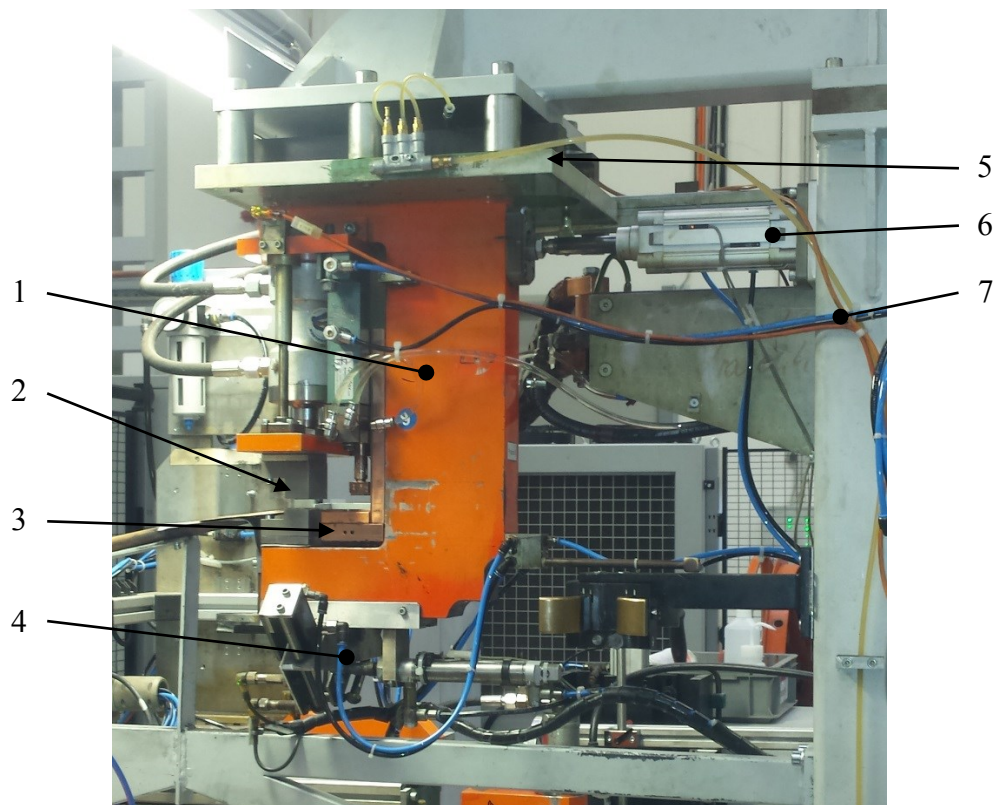
Pneumatické upínky jsou uchyceny na pneumatickém válci tak aby mohly být posuvné ve dvou polohách. Tato funkce je zde kvůli tomu aby při odběru pásku z vodící drážky do svařovací hlavy mohl být ve vodící drážce připravován další pásek. Celý proces probíhá tak, že upínky jsou při odběru pásku z vodící drážky vysunuté. Po svaření pásku a jeho odvodu po skluzu se upínky zasunou a ramena se vrací zpět dolů k již dalšímu připravenému pásku, následně se vysunou a odeberou další připravený materiál.



Obr. 11 – Část ramena s upínací čelistí

Celé zařízení zdá se být navrženo provozuschopně, avšak v průběhu výroby se zde projevují jisté konstrukční vady. Tou největší je asi celková tuhost obou ramen. V praxi se ramena chovají tak, že při dojezdu do koncové polohy, dochází ke kmitání obou čelistí, protože tuhost celého ramena není dostačující vůči hmotnosti (čelistí), která je na nich uložena – viz obr. 11. Celý tento problém má v důsledku negativní dopad na přesnost výroby. Na konečném produktu se to projevuje jako špatné přesahy plechů po svaření. Další vadou jsou pneumatické pohony ramen, které nemají schopnost plynulé regulace chodu, při dojezdu do koncových poloh je zde nutná přítomnost koncových dorazů, kterým se budu věnovat v dalších kapitolách. Jako vhodné řešení se zde nabízí použití servomotorů v kombinaci s kuličkovým šroubem. Jak jsem výše zmínil je zde nutné použití ocelových dorazů, které se se musí seřizovat vždy při náběhu výroby jiného typu pásku. Pokud by na pohon celé této sestavy byl použit výše zmíněný servomotor, problém se seřizováním by odpadnul.

## 1.6 Svařovací hlava



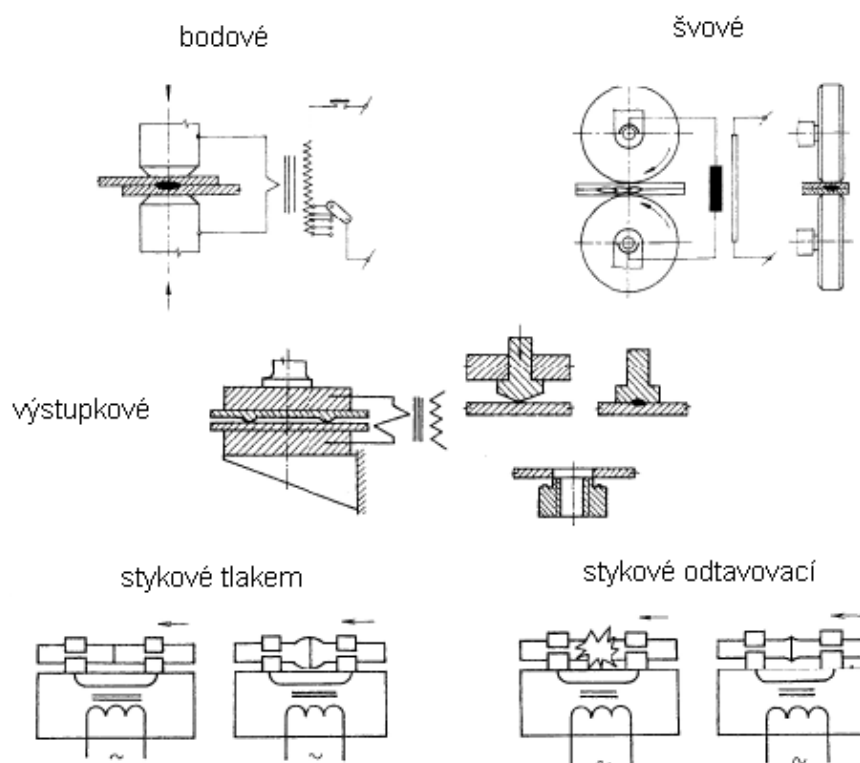
Obr. 12 – Svařovací hlava

*1 – Nosná část (rám), 2 – Zalisování, 3 – Svařovací elektrody, 4 – Pneumatický vyhazovač, 5 – Kluzné vedení, 6 – Pneumatický válec [1], 7 – Ocelový stojan*

Úkolem svařovací hlavy je svařit podaný materiál a následně svar zalisovat. V první fázi dochází k odporovému svaření – viz následující podkapitola a po uvolnění svařovacích elektrod se celá hlava posune dozadu a dojde k zalisování svaru. Následně je vyhazovačem hotový výrobek odsunut na skluz. Nosná část svařovací hlavy, na kterou jsou uchyceny všechny další komponenty, má tvar C profilu. Celá sestava svářečky je zavěšena na ocelovém stojanu a uložena v kluzném vedení pro možný posuv ve dvou pracovních polohách. Pohyb ve dvou polohách zajišťuje pneumatický válec. Velký problém zde činí neplynulý posuv, který má za následek kmitavý pohyb celé sestavy, včetně rámu na kterém je svařovací hlava zavěšena. Součástí je i pneumatický vyhazovač, který po zalisování svaru vyhodí hotový pásek na ocelový skluz. Ve své práci nepočítám s nějak zásadními úpravami této sestavy, protože z praxe jsem vyzoroval, že co do funkce nejsou zde žádné závažné problémy a konstrukčně je svařovací hlava navržena správně.

## Princip odporového svařování

Při metodě svařování odporem se spoj vytváří teplem vyvinutým průchodem elektrického proudu svařovanými dílci a jejich dotykem za spolupůsobení tlaku. Elektrický proud se do svařovaných částí přivádí elektrodami, vyrobenými především z mědi nebo ze slitiny mědi. Podle konstrukce, uspořádání elektrod a pracovního postupu tohoto elektromechanického procesu svařování rozdělujeme odporové svařování na následující metody – viz obr. 13. [2]



Obr. 13 – Způsoby bodového svařování [2]

Mezi typické vlastnosti této metody svařování patří: [2]

- rychlost svařování
- vytváření spojů bez využití přídavného materiálu
- svařování jinak obtížně svařitelných materiálů
- výhodné pro malosériovou i hromadnou výrobu

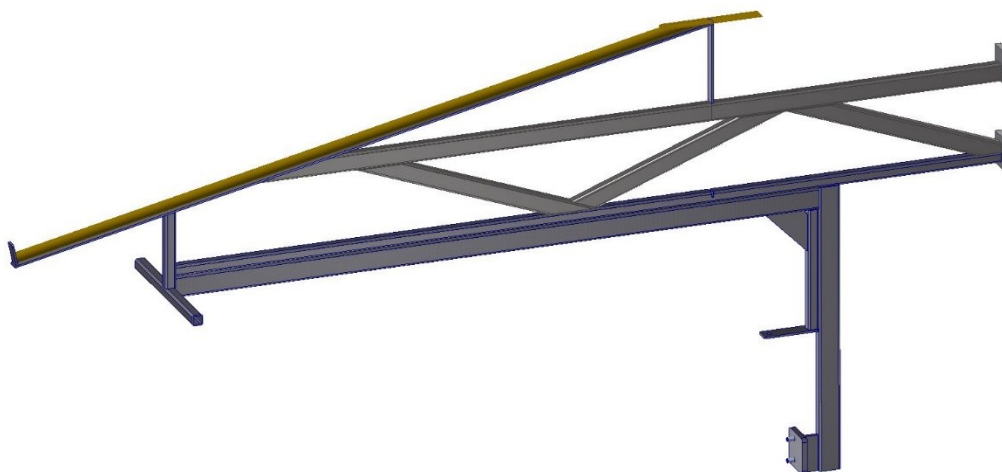
Tab. 1 Charakteristika technologie a rozsah použití odporového svařování [3]

Polohy svařování	Bez omezení
Druh svařovaného materiálu	Nelegované a legované oceli, měď, nikl a jejich slitiny
Tloušťka materiálu	0,4 – 10 mm
Svařovací proud	103 – 105 A
Pracovní napětí	0,5 – 30 V
Druh svařovacího proudu	Střídavý (výjimečně stejnosměrný)
Čas svařování	0,04 – 2 s
Svařovací tlak	15 – 200 MPa
Rychlost náběhu teplot	až 100 000 °C/s

## 1.7 Odváděcí skluz

Svojí konstrukcí navazuje na svařovací hlavu, ze které odvádí hotové kusy mimo oplocení, odkud jsou již odebírány obsluhou. Jedná se o závěsný rám s náznaky příhradové konstrukce, kde na horní hraně je měděná tyč po které sklouzává hotový materiál. Závěs je řešený tak aby nebránil volnému skluzu, v principu je totiž zpracovávaný materiál stočen kolem skluzu a po uvolnění ze svářečky po něm sjede na odběrové místo.

Při samotném skluzu svařenců dolů, dochází k narážení do vibračního podavače, jehož výstupní část zasahuje do dráhy skluzu. Řešením této situace by bylo lepší uspořádání vibračních bubnů a navazujících mechanismů. Ponechání či odstranění tohoto skluzu, bude ještě předmětem dalších úvah, protože se jedná v principu o snadnou a bezproblémovou konstrukci, která efektivně plní svůj účel.



Obr. 14 – Odváděcí skluz

## 1.8 Podávací zařízení montážních plechů

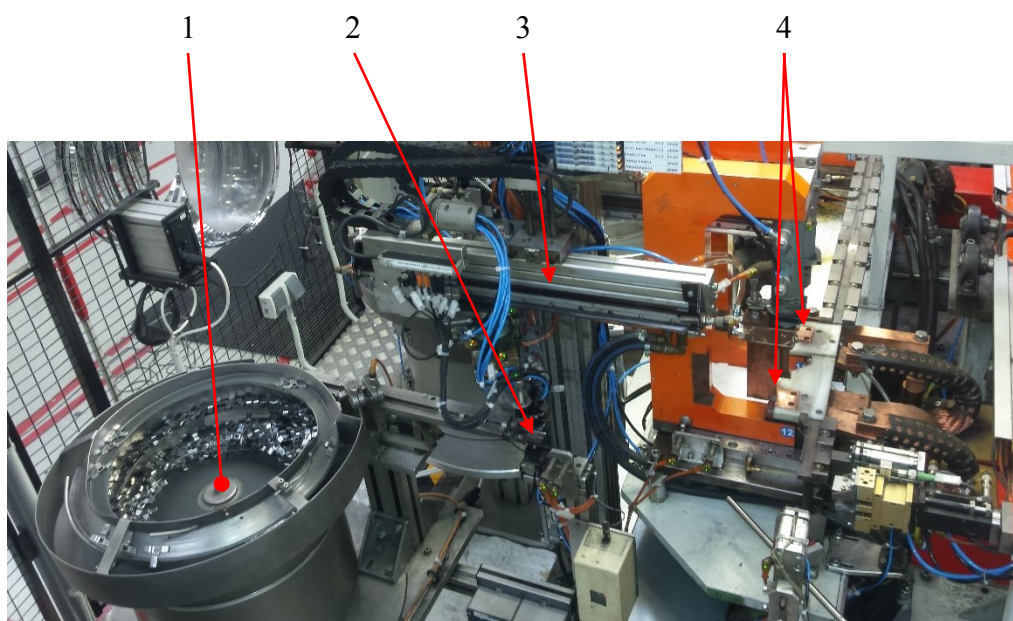


Obr. 15 – Montážní plechy

Jde o pneumatický přímočarý podavač, který podává plíšky (dále jen montážní plechy – viz obr. 15) z vibračního bubnu do vodící drážky na svařovací pozici. Existují dva typy těchto plechů. Na celém zařízení jsou dohromady tři podavače pro tři pozice (dva jsou totožné), aby bylo možné na jednom zařízení vyrábět všechny typy pásků.

Konstrukčně se jedná o sestavu bezpístnicového pneumatického válce s bočním výstupem, ke kterému jsou pomocí různých konzol a desek chyceny kyvný pneumatický válec pro natáčení a pneumatická upínka pro uchycení plíšku na výstupu z vibračního dopravníku. Na pneumatické upínce jsou dvě čelisti, z nichž jedna má na své pracovní ploše výstupek a druhá má otvor kvůli vystředění při upnutí. Celé toto zařízení je pak uchyceno na konstrukčních hliníkových profilech Item – viz obr. 16. Ve finále pak tento podavač pracuje s přesností  $\pm 0,5$  mm, což způsobeno využitím kombinace různých pneumatických pohonů. Tato přesnost je dlouhodobě nevyhovující a bude nutno navrhnout nové řešení tohoto podavače. Moje představa je taková, že pokud dojde k zachování vibračních bubnů, budu se je snažit uspořádat tak aby bylo možné poslední dva podavače nahradit jen jedním.





Obr. 16 – Podávací zařízení

*1 – vibrační dopravník, 2 – Pneumatická upínka, 3 – Pneumatický podavač, 4 – Svařovací pozice*



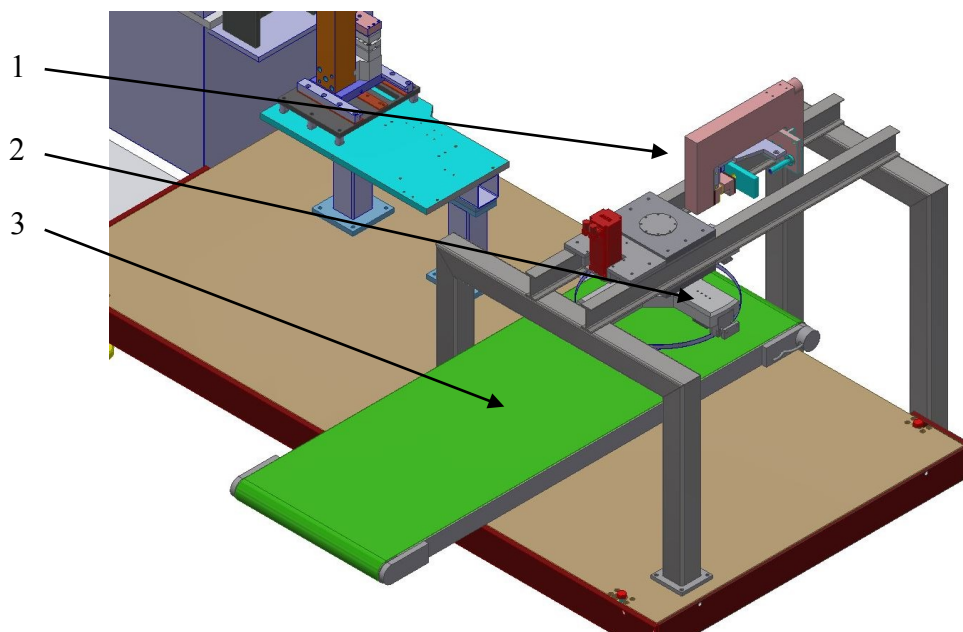
## **1.9 Shrnutí aktuálního stavu**

V současné době probíhá na výše popsaném zařízení výroba ve třisměnném provozu, kdy každá směna musí vyrobit cca tisíc až tisíc-tři-sta kusů tohoto svařence. Taková to produkce vyžaduje provozuschopné a spolehlivé zařízení s co nejmenším počtem zásahů obsluhy a údržby vyjma autonomní údržby. Současné zařízení tento stav již delší dobu nesplňuje, a proto vznikl požadavek na konstrukční návrh nového zařízení. Ve své práci se budu zabývat konstrukčním návrhem zařízení, které bude pracovat na podobném principu jakou současné řešení, ale způsoby řešení jednotlivých mechanismů budou zcela jiné. Především bude snaha nahradit relativně nepřesné pneumatické pohony za přímočaré pohony na principu kuličkových šroubů poháněných servomotory pro přesné polohování funkčních členů. Konkrétně budu cílit na náhradu pneumatických ramen, pomocí kterých dochází ke stáčení samotného plechu, dále bych chtěl navrhnout spolehlivý podávací mechanismus montážních plechů.

## 2 Koncepční návrhy

V prvotních fázích navrhování jsem pracoval s různými variantami řešení. Důležité je zde říct, že z původního zařízení hodlám využít odvíjecí a rovnací zařízení, protože funkčně nevykazují žádné problémy a navíc jsou dodány externě. Pro další vývoj to tedy znamená, že musím počítat s tím, že vstupní materiál bude přiváděn ve vodorovné poloze, tak jako tomu bylo doposud.

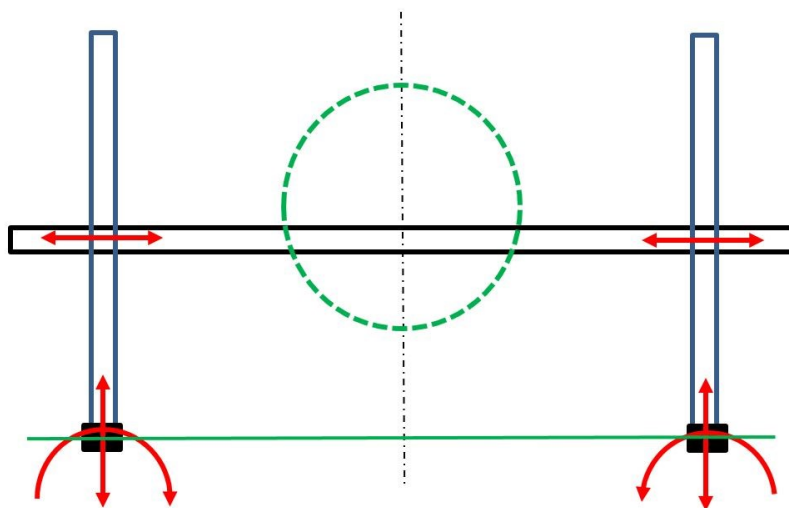
Jednou z variant byla možnost, že by se zpracovávaný polotovár plechu navíjel na vertikálně uložený otočný kotouč (vzhledem k jeho ose otáčení) s čelistmi, které by byly variabilní na principu sklíčidla a rozevíraly by se na požadovaný průměr dle aktuálně vyráběného produktu – viz obr. 17. Po navinutí a svaření by následně hotový svařenec padal na pásový dopravník a byl odváděn na odběrové místo. Problém zde byl v tom, že kotouč mohl disponovat nanejvýš čtyřmi čelistmi, což by nezaručovalo dokonalé navíjení a vytvoření přesného kruhu z jinak poměrně poddajného vstupního materiálu. Dalším problémem zde bylo, aby se oba konce vstupního materiálu po navinutí potkaly v přesné poloze naproti sobě a to tak, aby zde byl dodržen vhodný přesah obou konců pro svaření a další parametry. Dále bych musel vyřešit to, aby byl vstupní materiál pootočen o 90°, a aby mohl být uchopen. Jinak řečeno, vstupní materiál by musel být svojí kratší stranou ve svislé poloze na místo ve vodorovné. Na základě těchto aspektů jsem tuto variantu po delší úvaze zavrhnul.



Obr. 17 – Neúplná konstrukce navíjecího zařízení

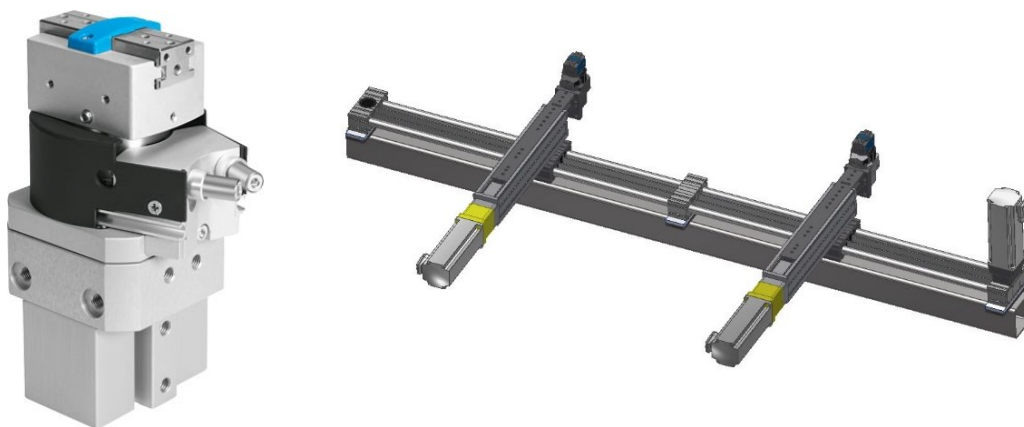
*1 – Svařovací hlava, 2 – Navíjecí kotouč, 3 – Dopravník*

Následně jsem tedy přešel na možnost, kdy by se vstupní materiál pomocí nějakého 2D rovinného portálu uchopil a byl by stočen do svařovací pozice. Napadlo mě tedy řešení pomocí tří servopohonů v kombinaci s kyvnou čelistí – viz obr. 18. Využil bych zde vstupního podávacího žlabu z původního zařízení, ze kterého bych odebíral připravený vstupní materiál.

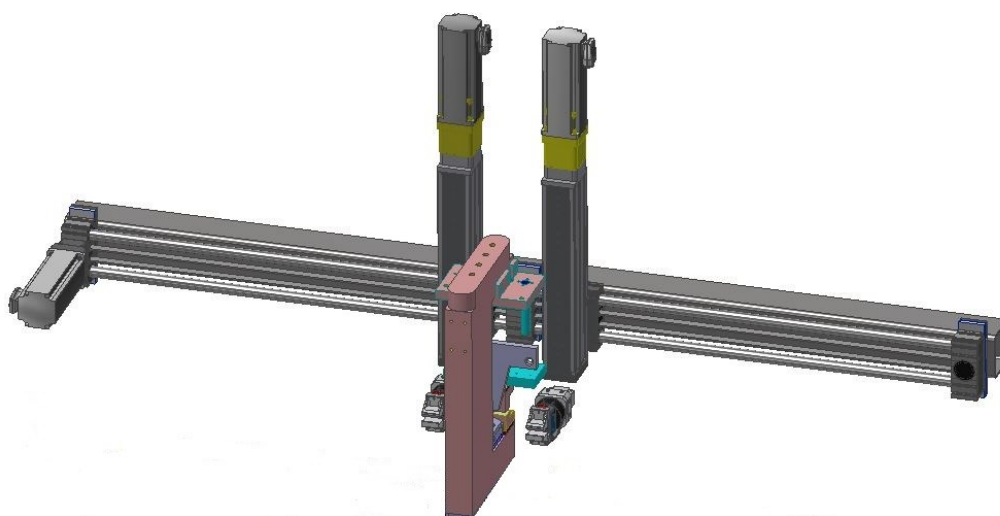


Obr. 18 – Schéma principu zařízení

V další fázi jsem tedy zpracovával konstrukční návrh této myšlenky. Využil jsem k tomu kombinaci přímočarých pohonů firmy Festo [1] uchycených na ocelovém profilu čtvercového průřezu viz - obr. 19. Kombinací pohybů ve dvou osách lze dosáhnout otáčivého pohybu ke stočení vstupního plechového pásu. Posledním problémem bylo, abych po stočení oba konce pásu dostal do polohy proti sobě, tak aby mohlo dojít ke svaření a zalisování. K tomu jsem využil speciálního pneumatického chapadla s kyvnou hlavou z katalogu firmy Festo. Kyvná hlava disponuje výkyvem  $0^\circ - 210^\circ$ , s tím že úhel výkyvu lze nastavit pomocí mechanických dorazů – kde v tomto případě dostačuje  $180^\circ$ , více ani méně zde pro moji aplikaci nelze nastavit. Součástí kyvné hlavy je pár mechanických chapadel, na které uchytím upínací čelisti, pro uchycení pásu. Z původního zařízení jsem použil čelisti pro upnutí pásu, protože jsou tvarově přizpůsobené pro přesné uchycení. Aplikací tohoto chapadla jsem tedy vyřešil dva problémy najednou.



Obr. 19 – Kyvné chapadlo Festo [1] (vlevo) a stáčecí mechanismus (vpravo)

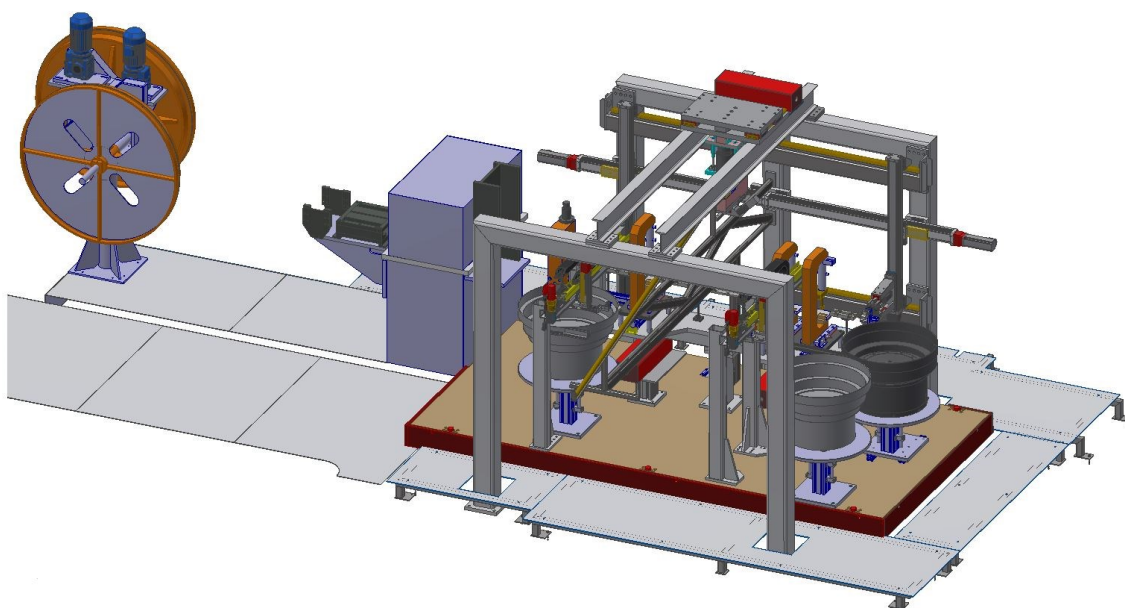


Obr. 20 – Stáčecí mechanismus s obrácenou svařovací pozicí

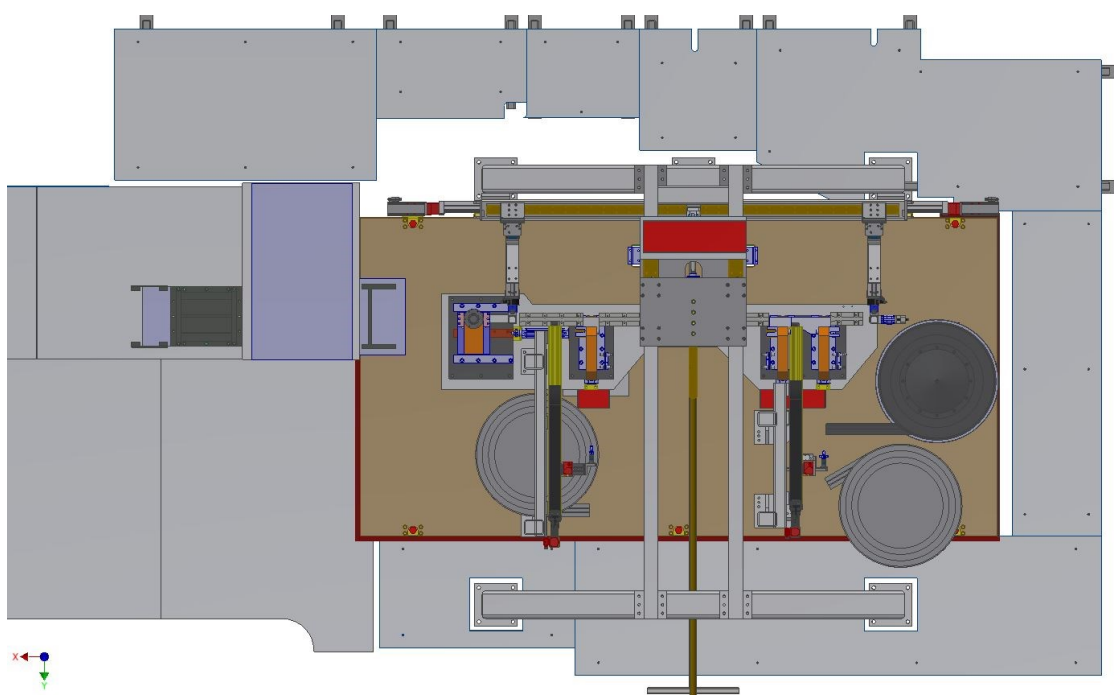
Na první pohled se toto řešení může zdát jako spolehlivé a bezproblémové, nicméně jsem tento návrh nakonec zhodnotil jako nevhodný z několika důvodů. Prvním je krátký zdvih vertikálních pohonů, který již byl maximální možný z dostupné nabídky výrobce. Jako řešení se zde nabízí volba jiného pohonu. Další velkou nevýhodou je paralelní pohyb vodorovného pohonu. V principu tento přímočarý mechanismus funguje tak, že pohyblivé saně se pohybují synchronně protiběžně nebo souběžně, protože jsou poháněny jedním společným řemenem. To znamená, že nelze v programu nastavit, aby se každá ze saní pohybovala nezávisle na druhé. Problém by zde mohl činit i samotný ozubený řemen, který by mohl podléhat častému opotřebení.

Každý z těchto návrhů zahrnuje jisté výhody a nevýhody, které v konečném důsledku nepřinášejí to, co je od zařízení vyžadováno.

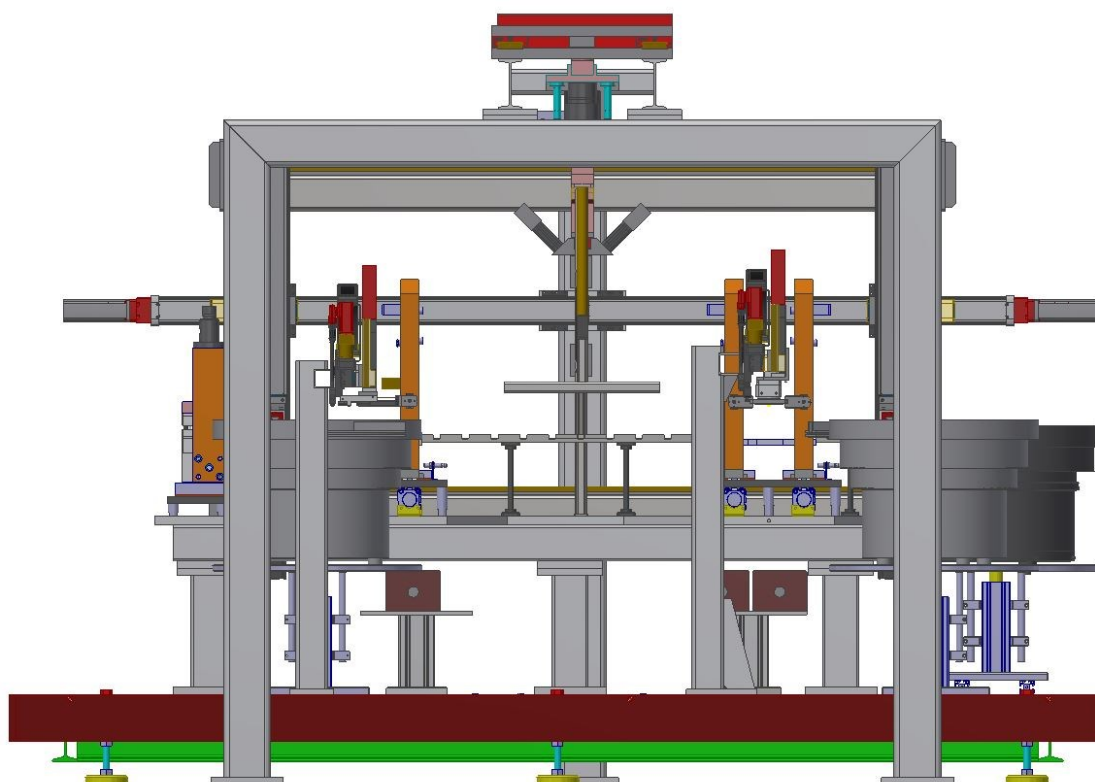
### 3 Popis konstrukce nového zařízení



Obr. 21 – 3D model navrženého zařízení



Obr. 22 – Půdorys pracoviště



Obr. 23 – Přední pohled na pracoviště

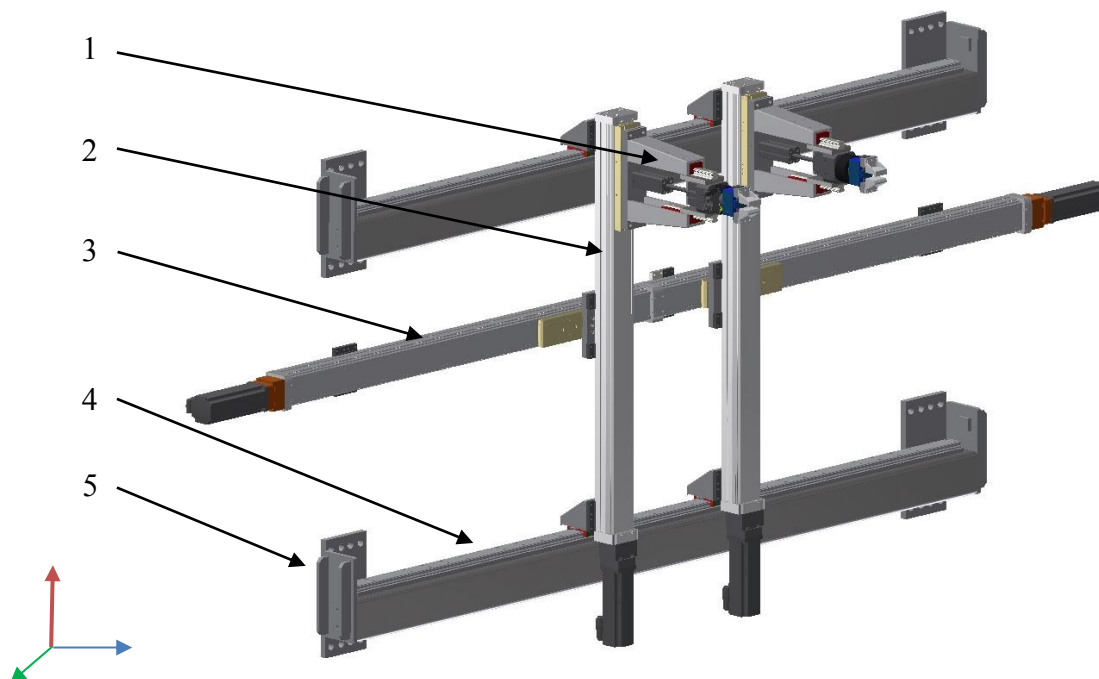
Princip navrhnutého zařízení se zakládá na křížovém stáčecím mechanismu, jehož pohyb zajišťuje několik přímočarých pohonů. Z naváděcího žlabu dochází k odběru materiálu, který je následně stáčecím mechanismem podán do svařovací pozice. Před stočením dochází k přivaření montážních plechů na svařovacích pozicích. Do svařovacích pozic je podán montážní plech přímočarými podávacími mechanismy z vibračních bubnů. V dalších kapitolách se budu věnovat detailněji konstrukci podávacích mechanismů. Variabilita jednotlivých průměrů stáčeného materiálu je dána vstupní délkou zpracovávaného pásu.

Celá konstrukce stáčecího mechanismu je šroubovými spoji uchycena k ocelovému rámu, který je pak přikotven k betonové podlaze. Součástí rámu je i svařovací hlava, která kromě svařování stočeného pásu slouží i k zalisování hotového svaru. Z této svařovací pozice je hotový svařenec vyhazovacím mechanismem odsunut na odváděcí skluz. Hotový svařenec je na konci skluzu odebíráán obsluhou stroje.

Naváděcí žlab, svařovací pozice a střížný nástroj jsou usazeny na ocelové desce, která je na ocelových podpěrách a následně pomocí kotvících desek chycena k ocelové základové desce. Většina komponent původní konstrukce prošli dílčími úpravami, kterým se budu věnovat v další kapitole.

Ke spodní základové desce jsou přišroubovány konstrukce přímočarých podavačů montážního plechu. První podavač je společně s vibračním bubnem umístěn u druhé svařovací pozice. Druhý přímočarý podavač je univerzální a slouží k podávání dvou různých typů montážních plechů z vibračních bubnů do třetí a čtvrté svařovací pozice. Stejně jako první podavač je přišroubován kotvící deskou k ocelové základové desce. Přesné umístění těchto pozic lze vyčíst z příložené výkresové dokumentace, která je součástí této práce.

### 3.1 Konstrukce stáčecího mechanismu



Obr. 24 – Ramena ve svařovací poloze

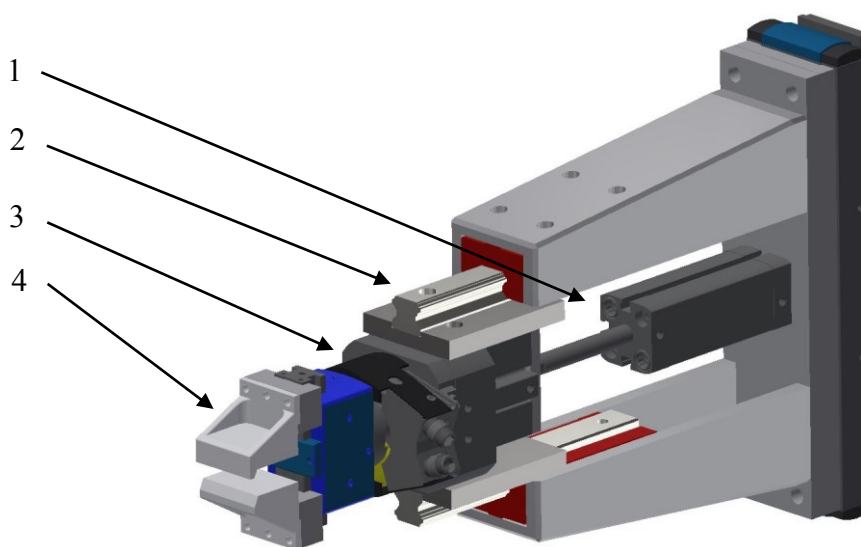
*1 – Levý upínací manipulátor, 2 – Vertikální pohon [1], 3 – Horizontální pohon [1], 4 – Lineární vedení [4], 5 – Mechanické dorazy*

V principu je podobný s původním návrhem, ale většina konstrukčních uzlů prošla změnami. V první řadě jsem odstranil vodorovný přímočarý pohon se synchronně pohybujícími se saněmi za dva, na sobě nezávislé, pohony. Každý z nich jsem uložil naproti sobě, tak jak je vidět – viz obr. 24. Znamená to, že s každým vertikálním pohonem lze pohybovat nezávisle na tom druhém. Vertikální pohon je stejný jako vodorovný, liší se akorát ve zdvihu, který je v prvním případě 600 mm a v druhém případě 800 mm. Maximální možná rychlost obou pohonů je 1 m/s při opakovatelné přesnosti  $\pm 0,02$  mm a stoupání vřetena 10 mm [3]. Vzájemně mezi sebou jsou uchyceny pomocí montážních desek, tak aby bylo možné přenášet posuvové síly v ose Y. Součástí každého pohonu je servomotor pro přesné polohování. Pro vhodné rozložení gravitačního zatížení je vertikální



pohon zavěšen na páru lineárních vedení. Zvolil jsem zde široké provedení kolejnic a vozíků pro přenos vysokého zatížení. Lineární vedení jsou pak přes montážní desku uchyceny k ocelovým profilům čtvercového průřezu. Po stranách ocelových profilů je navržen ocelový svařovaný doraz, aby nedošlo k vyjetí z dráhy.

Součástí vertikálního pohonu je upínací manipulátor – viz obr. 25. Do tohoto manipulátoru jsem zakomponoval kyvnou jednotku s chapadlem, které jsem se věnoval v předchozí kapitole. Zachoval jsem zde i čelisti z původního zařízení pro přesné uchycení pásku. Kyvná jednotka je uchycena na lineárním vedení aby s ní mohlo být manipulováno ve dvou polohách. Manipulaci zajišťuje pneumatický válec se zdvihem 60 mm a průměrem pístu 20 mm. Tento pohyb je nutný kvůli technologickému postupu při stáčení pásku, protože během procesu stáčení, svařování a zalisování se již v podávacím žlabu připravuje další polotovár ke zpracování. Takže aby, mohl manipulátor přijet do odebírací polohy, musí být v zasunuté poloze, jinak by došlo ke kolizi. Zjednodušeně řečeno ve vysunuté poloze dochází k odebírání pásku a podání do svářečky a v zasunuté poloze se manipulátor vrací k odebíracímu žlabu k již dalšímu připravenému pásku. Tento technologický proces jsem víceméně přebíral z původního zařízení. Celý tento manipulátor je pak zavěšen na pohyblivých saních – viz obr. 25.



Obr. 25 – Právý upínací manipulátor

*1 – Pneumatický válec [1], 2 – Lineární vedení [4], 3 – Kyvná jednotka s chapadlem [1], 4 – Upínací čelisti*



Funkce je tedy taková, že po uchycení pásku v přiváděcím žlabu se v jeden moment vodorovné pohony začnou pohybovat směrem k sobě po ose Y a svislé pohony se i s manipulatory začnou pohybovat směrem nahoru v ose Z. Zároveň s těmito pohyby, dochází k plynulému natáčení kyvné hlavy o  $180^\circ$ , ve které je upnutý pásek. Kombinace těchto tří pohybů bude mít za následek finální stočení tak aby se konce potkaly přesně v poloze proti sobě a mohlo dojít ke svaření a zalisování svaru. Průměr zde bude variabilní podle toho, jaká bude vstupní délka pásku. Princip je zde takový, že dojde nejprve ke stočení prvního konce vstupního pásku do svařovací pozice pomocí pravého manipulatoru. Následně je dotlačena zbylá délka pásku tak aby po stočení levého manipulatoru vznikl požadovaný průměr. Jakmile je tedy z podávacího zařízení přivedena zbylá délka, dojde k odstřižení a uchopení levým manipulatorem. Následně dojde ke stočení levého manipulatoru do svářečky.

Upínací čelisti jsou tvarově přizpůsobeny k přesnému upnutí vstupního pásku – viz obr. 26.



Obr. 26 – Upínací čelist

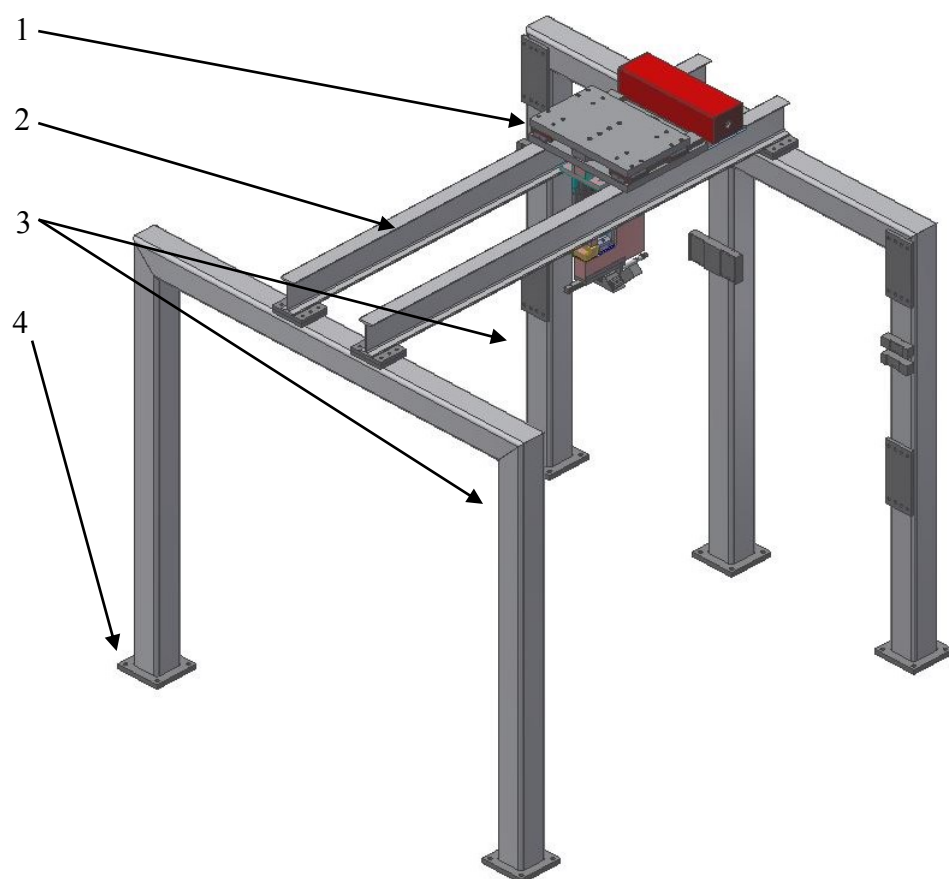


Obr. 27 – Ramena v odebírací poloze

### 3.2 Popis konstrukce rámu a svařovací hlavy

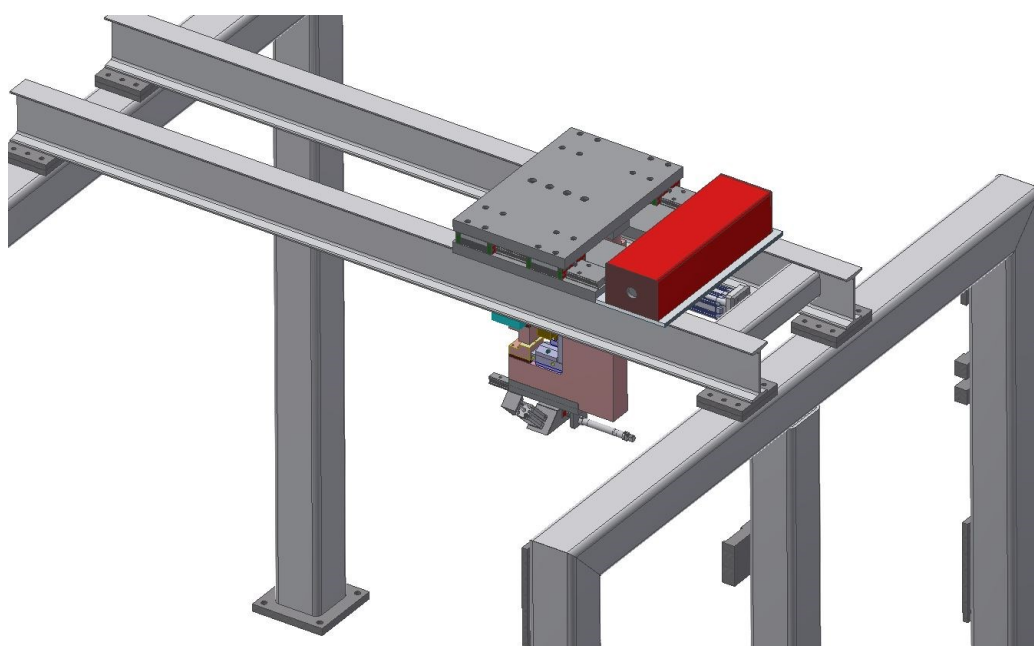
Rám jako takový vznikl až v poslední části vývoje. Postup byl takový, že primárně jsem se soustředil na jednotlivé uspořádání funkčních komponent, které mi po většinu práce „levitovaly“ v prostoru. Jakmile, byly veškeré komponenty usazené, přistoupil jsem k návrhu rámu. Jedná se o jednoduchou rámovou konstrukci na pěti podpěrách a dvou příčkách z „I“ profilů.

Konstrukce podpěrných nohou se skládá z ocelových profilů čtvercového průřezu o rozměrech 130x130 mm a tloušťce stěny 8 mm. Celková výška rámu je od země 2010 mm a šířka 1987 mm. V horní části rámu jsou dvě příčky z profilu „I“ o délce 2130 mm. S podpěrnými nohami jsou spojeny pomocí montážních desek a šroubů, kvůli jednodušší montáži. Na těchto příčkách je uložena sestava svařovací hlavy – viz obr. 28. Na zadních podpěrách jsou přivařeny montážní desky pro uchycení stáčecího mechanismu. Ve výpočtové části se budu věnovat statickému výpočtu rámu na průhyb ze vzniklého gravitačního zatížení od svařovací hlavy, dále bych chtěl provést orientační výpočet na vzniklé kmitání od setrvačných sil horizontálního pohonu stáčecího mechanismu.



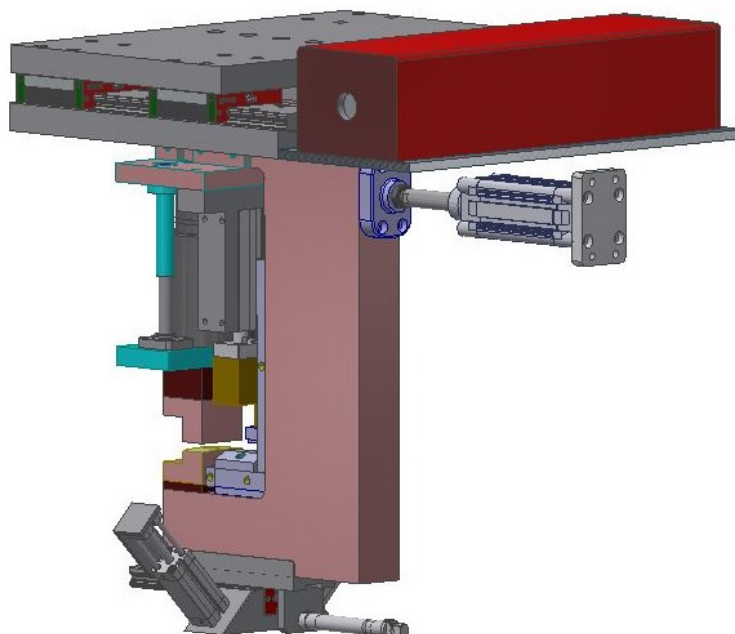
Obr. 28 – Rám

*1 – Svařovací hlava, 2 – Příčka z „I“ profilu, 3 – Podpěrné nohy, 4 – Montážní desky*



Obr. 29 – Detailní pohled na rám

Svařovací hlava oproti půdnímu stavu neprošla mnohými změnami – viz obr. 30. Pouze jsem změnil její uložení, kde jsem nahradil kluzné segmenty lineárním vedením. Od této úpravy si slibuji vyřešení problému se vzniklým kmitáním, ke kterému dochází během pohybu svařovací hlavy mezi svařovací a lisovací polohou. Následně jsem tomu přizpůsobil i celkové uchycení mezi dvě ocelové desky tak abych celou svařovací hlavu mohl usadit na horní plochu „I“ profilů. Součástí této sestavy je i svařovací transformátor, který jsem do této sestavy 3D modelu zakomponoval kvůli zástavbovým rozměrům. Pohyb svařovací hlavy je i nadále prostřednictvím pneumatického válce Festo se zdvihem 70 mm. Zachován byl i pneumatický vyhazovač hotového svařence.



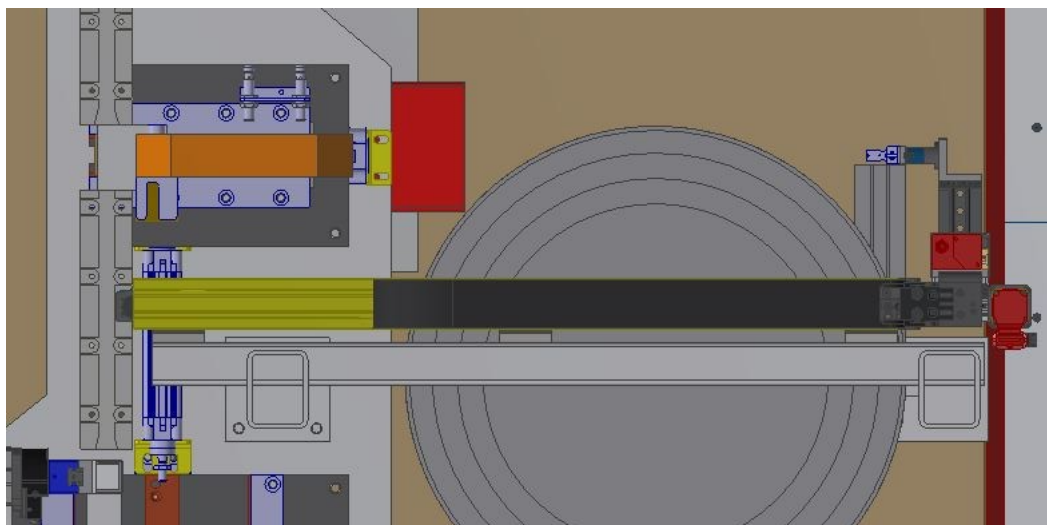
Obr. 30 – Svařovací hlava

### 3.3 Konstrukční úpravy na stávajícím zařízení

Část původního zařízení jsem využil, protože do sebe vhodně zapadá s konstrukcí, kterou jsem navrhnul a v neposlední řadě abych si ušetřil práci s navrhováním nových komponent, ve finále by to pak mělo za následek, že bych dělal zbytečnou práci. Toto řešení vzešlo z toho, že vycházím z podobného principu stáčení jako na původním zařízení. Z původní konstrukce zmizelo asi 65% všech komponent a ze zbylé části na svém původním místě jich zůstalo jen asi 20%, což lze doložit při porovnání obrázků 7 a 35.

Nejdůležitější změnou bylo jiné uspořádání vibračních podavačů, které slouží k separování a podávání, montážních plechů. Potřeboval jsem si uzpůsobit jejich pozici tak abych mohl co nejjednodušeji navrhnout přímočarý podávací mechanismus, který dopravuje montážní plechy od vibračního podavače do svařovací pozice na podávacím žlabu. Jak je vidět z obrázku, jsou zde tři vibrační podavače, kde každý z nich náleží jedné svařovací pozici. Důležité je zde říct, že vždy je v provozu jen jedna svařovací pozice při výrobě daného typu pásku.

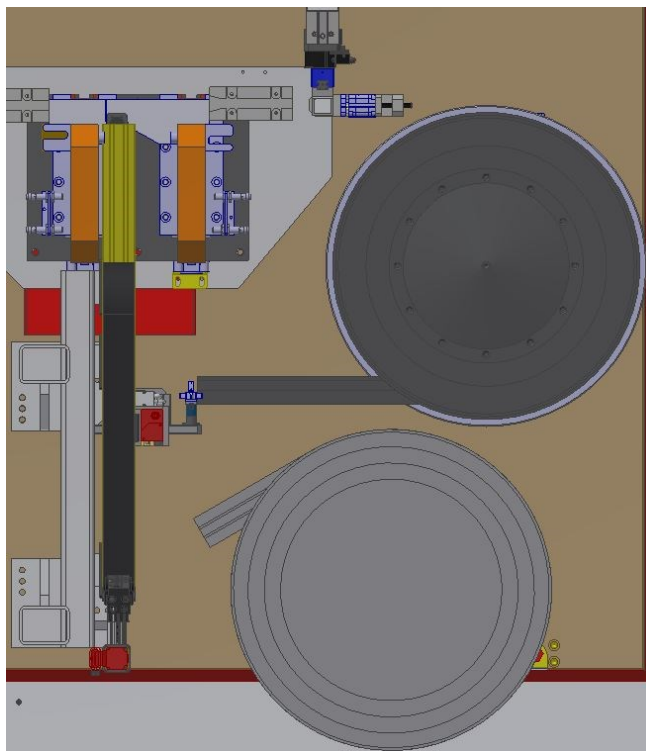
U druhé svařovací pozice byl odstraněn celý pneumatický podavač, který byl řešený kombinací různých pneumatických prvků a zůstal mi zde jen vibrační podavač. Cílem bylo, abych montážní plech dostal do odebrací pozice tak aby následně bylo možné jen v jednom směru odjet do svařovací pozice. Toho jsem dosáhnul tak, že jsem celý buben při pohledu z vrchu otočil o 120° ve směru hodinových ručiček a jeho výstup umístil do jedné roviny spolu se svařovací elektrodou viz - obr. 32. Pro co nejkratší dráhu přímočarého podavače jsem ještě celý buben i s podstavcem umístil co nejbližší příváděcímu žlabu a svařovací pozice.



Obr. 31 – Odebírání materiálu u druhé svařovací pozice

Při přestavbě třetí a čtvrté svařovací pozice byla již situace poněkud komplikovanější. Stav je zde takový, že na každé svařovací pozici se svařuje jiný typ montážního plechu. V praxi to znamená, že do dvou svařovacích pozic jsou pomocí dvou různých vibračních podavačů přiváděny dva různé montážní plechy. Moje řešení spočívá v tom, že vibrační bubny uspořádám tak abych byl schopen zásobovat obě svařovací pozice pouze jedním přímočarým podavačem, který bude opatřen univerzálním efektem. Konkrétně jsem tedy tento stav řešil tak, že jsem oba vibrační bubny umístil za sebe tak aby jejich výstupy byly orientované směrem k podavači. První buben, který je na obr. výše, byl umístěn na podobném principu jako první – jeho výstup je v jedné rovině se svařovací elektrodou. Druhý vibrační buben jsem musel umístit co nejbližší k prvnímu vibračnímu podavači, protože zde vznikl značný nedostatek místa. Nutností zde ještě bylo pootočit druhý buben o 30° vůči prvnímu, aby zde vznikl prostor pro manipulaci otočného efektoru, protože montážní plechy z těchto bubnů vystupují každý opačným směrem. Tato záležitost bude řešena otočným upínacím efektem. Konstrukci samotného podavače a efektoru se budu věnovat v další kapitole.

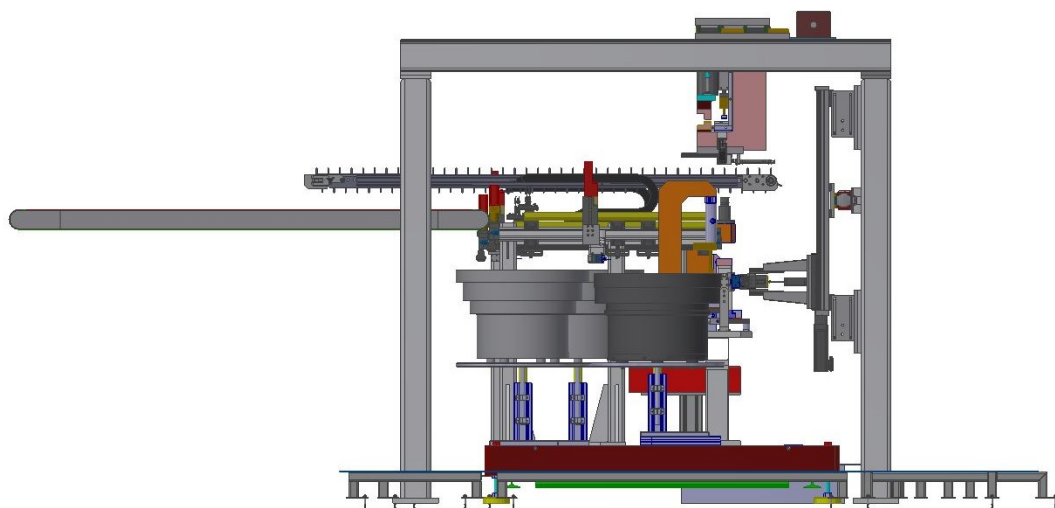
Tímto uspořádáním jsem vyřešil problém při odvádění hotového svařence po odváděcím skluzu, kde docházelo k narážení hotového pásu o druhý vibrační buben. Tím, že jsem umístil druhý buben, mimo tuto dráhu je tento problém vyřešen.



Obr. 32 – Uspořádání bubnů

Mezi další drobné úpravy patřilo umístění svařovacích trafostanic pod hlavní desku. Důvod byl ten, abych vytvořil dostatečný prostor pro pohyb stáčecího mechanismu. Další drobnou úpravou bylo otočení pneumatických válců svařovacích elektrod na třetí a čtvrté svařovací pozici. K této úpravě jsem přistoupil proto, abych vytvořil prostor pro umístění přímočarého podavače.

V další fázi jsem se zaměřil na odvod hotového svařence, ze svařovací pozice. Původní záměr zachovat odváděcí skluz jsem nahradil sofistikovanějším řešením a to kombinací dvou dopravníků – viz obr. 33. První dopravník jsem umístil pod svařovací hlavou. Na tento dopravník budou po vyhození padat hotové svařence, které budou na tomto dopravníku v zavěšené poloze. Jde o úzký pásový dopravník s hradítky. V další fázi dojde k přemístění hotového svařeného pásu na pásový dopravník, který přivede svařenec na odběrové místo.

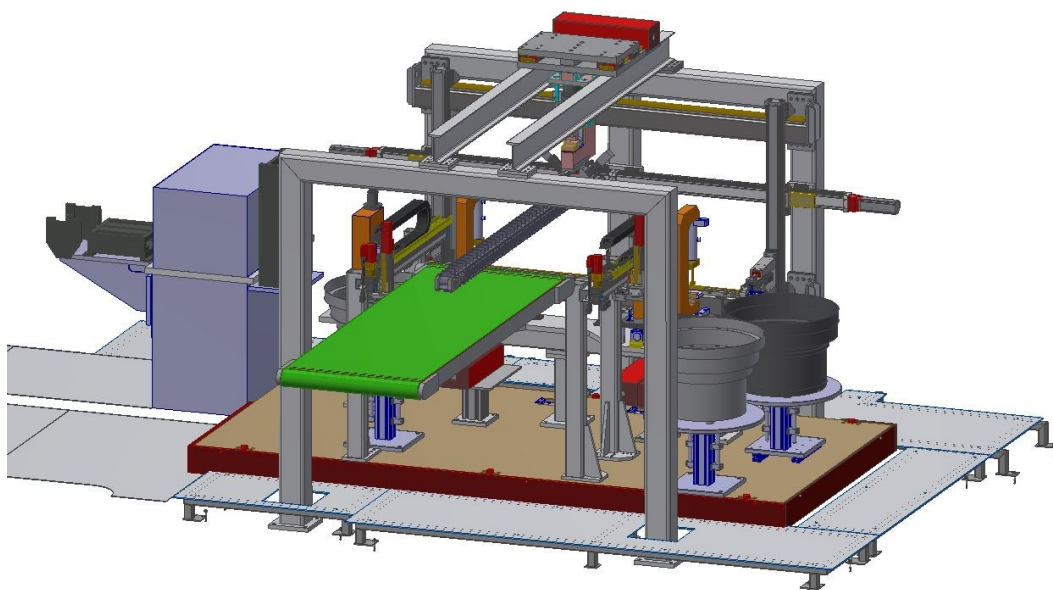


Obr. 33 – Boční pohled na zařízení s dopravníky

Nicméně po delší úvaze, jsem se dopracoval k závěru, že toto řešení není úplně vhodné z několika důvodů. Prvním je energetická náročnost. Původní skluz nevyžaduje žádný pohon, tudíž je jeho energetická náročnost nulová. S tím souvisí i ekonomická stránka celé situace. Původní skluz by vyžadoval jen drobné úpravy a mohl by být využíván i nadále. Zatímco řešení kombinací dopravníků by po ekonomické stránce bylo zcela jinde. Dalším důvodem je údržba a servis dopravníků, které by byly komplikovanější než u odváděcího skluzu, který v podstatě nevyžaduje žádné zásahy během provozu.

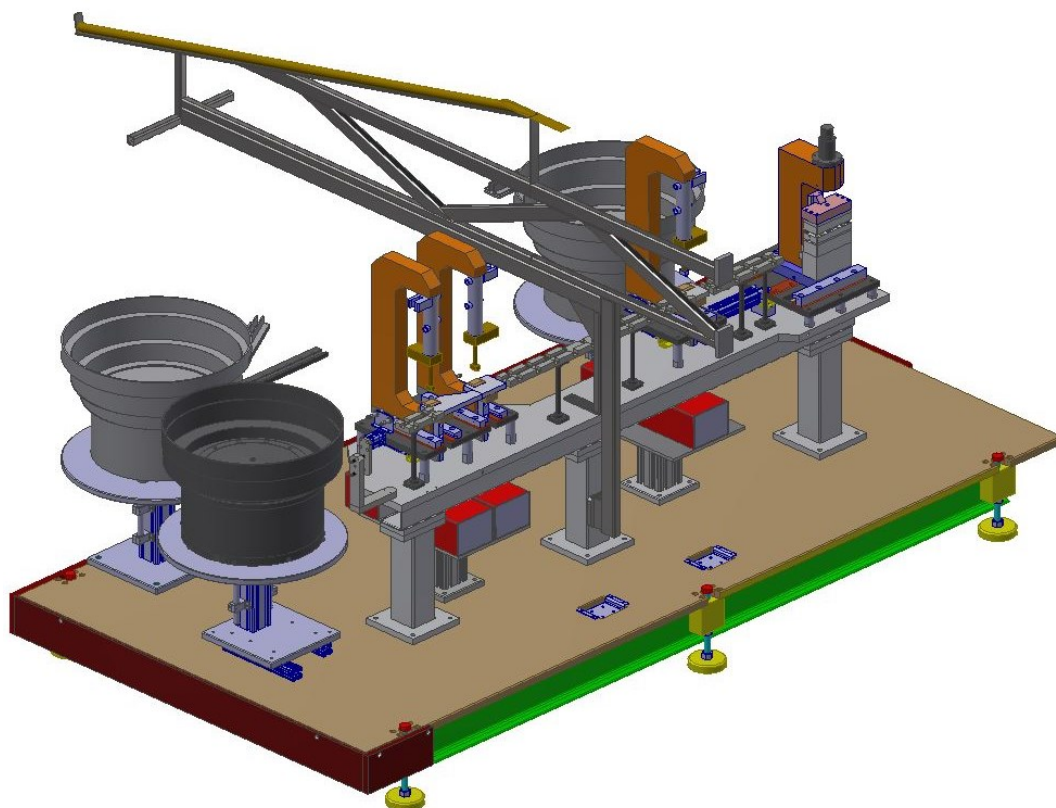
Následně jsem se tedy vrátil k řešení pomocí odváděcího skluzu, který jsem konstrukčně upravil tak, aby mohl být uchycen k rámu zařízení, o kterém jsem se zmínil v předchozí kapitole.





Obr. 34 – Konstrukce opatřená odváděcími dopravníky

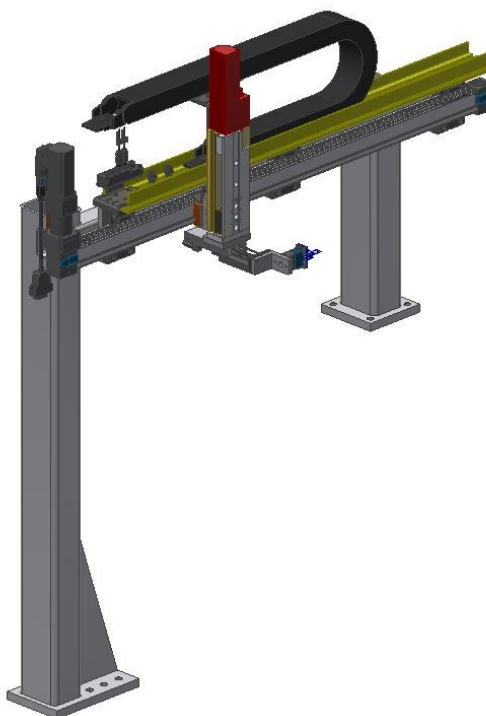
Původní konstrukce byla do jisté míry upravena tak aby mohla být osazena novými komponentami a využila tak jejich potenciálu. Důvodem využít stávajících komponent byla jejich vhodná adaptivita pro navrhovaný princip stáčecího mechanismu. Dalším důvodem jsou finanční úspory během realizace.



Obr. 35 – Celkový pohled na přepracovanou konstrukci zařízení



### 3.4 Podávací zařízení druhé svařovací pozice montážního plechu



Obr. 36 – Podávací zařízení

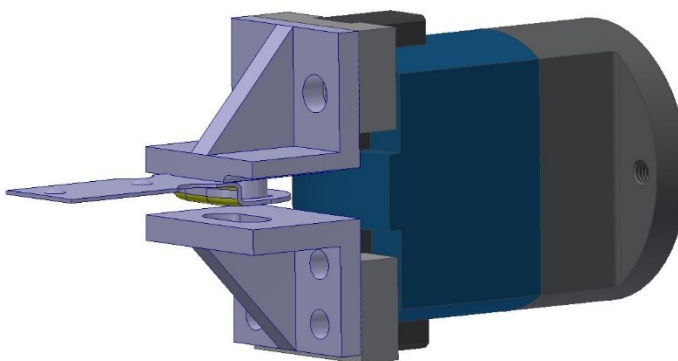
Toto jednoúčelové zařízení slouží k podávání montážních plechů od výstupu z vibračního podavače do svařovací pozice mezi elektrody. Jak jsem zmínil v předchozí kapitole výstup z podavače je orientován tak aby mohl být montážní plech přesunut pouze v jednom směru do svářečky – viz obr. 36.

Tab. 2 Parametry jednoosého podavače [1]

Parametr	Hodnota
Pracovní zdvih	900 mm
Doba přejetí	3 s
Doba cyklu	13 s
Rychlost	1,26 m/s
Typ pohonu	servomotor EMME-AS
Opakovatelná přesnost	±0,08 mm

Součástí jsou i další dva přímočaré pohony pro vhodnou manipulaci mezi překážkami. Největší překážku, zde činí výstup z vibračního podavače – viz obr. 39. Vertikální pohon slouží ke kompenzaci výškových rozdílů a pro přesné podání montážního plechu do svařovací pozice. Konkrétně se jedná o pohon od firmy Festo SLTE-16-100 se zdvihem 100 mm. Horizontální pohon slouží k vysouvání do strany, aby přímočarý podavač mohl projet kolem „C“ profilu druhé svářečky. Z důvodu toho, že zde je nutno pracovat pouze ve dvou pozicích, volil jsem pouze pneumatický pohon. Jedná se o pohon Festo SLT-10-50 s vodícími saněmi, kde průměr pístu je 10 mm a zdvih 50 mm.

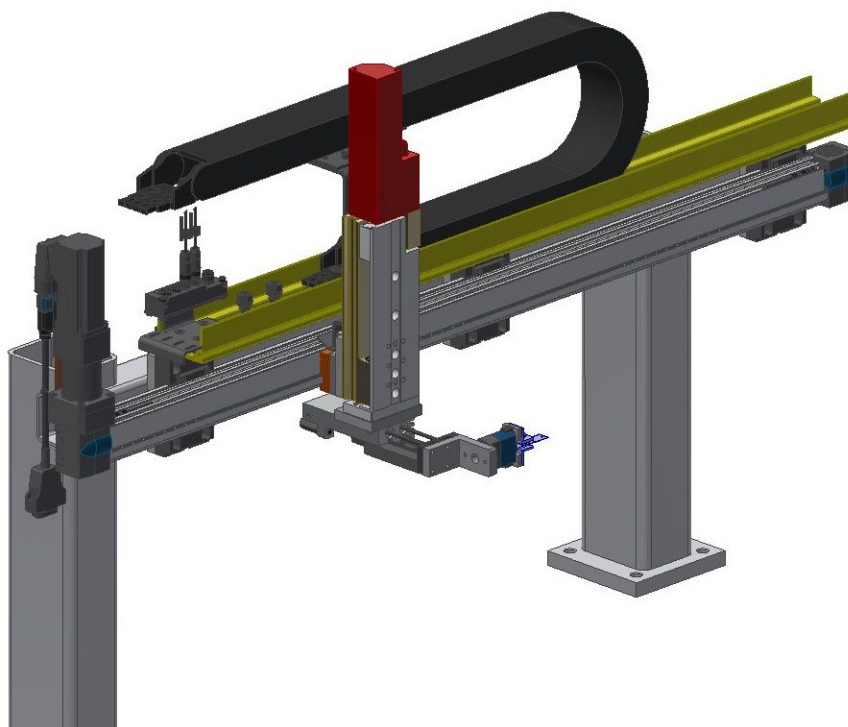
Samotná část efektoru se skládá z držáku tvaru „L“, který je uchycen k pohyblivé desce pneumatických saní. K tomuto držáku je uchyceno pneumatické chapadlo Festo HGPM-12 s celkovým zdvihem 6 mm. Na tomto chapadle je přišroubován pár čelistí uzpůsobených k přesnému uchycení montážního plechu – viz obr. 37. Přesné uchycení je zajištěno oválným výstupkem v horní čelisti a oválnému otvoru ve spodní čelisti. Montážní plech disponuje stejným otvorem. Po upnutí tedy dojde k přesnému vystředění montážního plechu mezi těmito čelistmi.



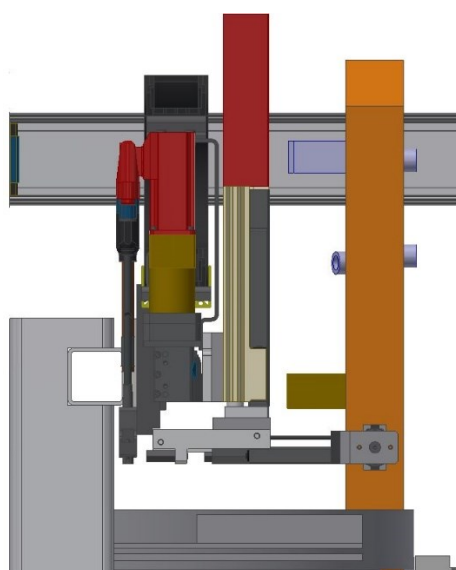
Obr. 37 – Pneumatické chapadlo

Hliníkové tělo podavače je montážními deskami uchyceno k ocelovému profilu obdélníkového průřezu, který má rozměry 50x50 mm a tloušťku stěny 3 mm. Dále je tato konstrukce postavena na dvou podpěrách z ocelových profilů 90x70x5. Z toho jedna z nich je uchycena až k ocelové podlaze a druhá je přišroubována k ocelové desce naváděcího žlabu. Opět jsem zde postupoval jako při konstrukci rámu, a to tak že v první fázi jsem si usadil do přesné pozice konstrukci podávacího zařízení a až poté jsem se zaměřil na konstrukci rámu.

Algoritmus je zde takový, že po upnutí montážního plechu čelistmi dojde k zasunutí vertikálního pohonu a následně se zasunou i pneumatické saně, tak aby mohl být opuštěn prostor vibračního bubnu. Navazujícím pohybem je přejetí jednoosého podavače ke svařovací pozici. Zde dojde k vysunutí pneumatických saní do koncové polohy, která je navržena tak že montážní plech je přesně na středu svařovací elektrody viz - obr 38. Následuje vysunutí vertikálního pohonu, který díky servomotoru usadí montážní plech přesně ve vertikální pozici mezi svařovací elektrody.

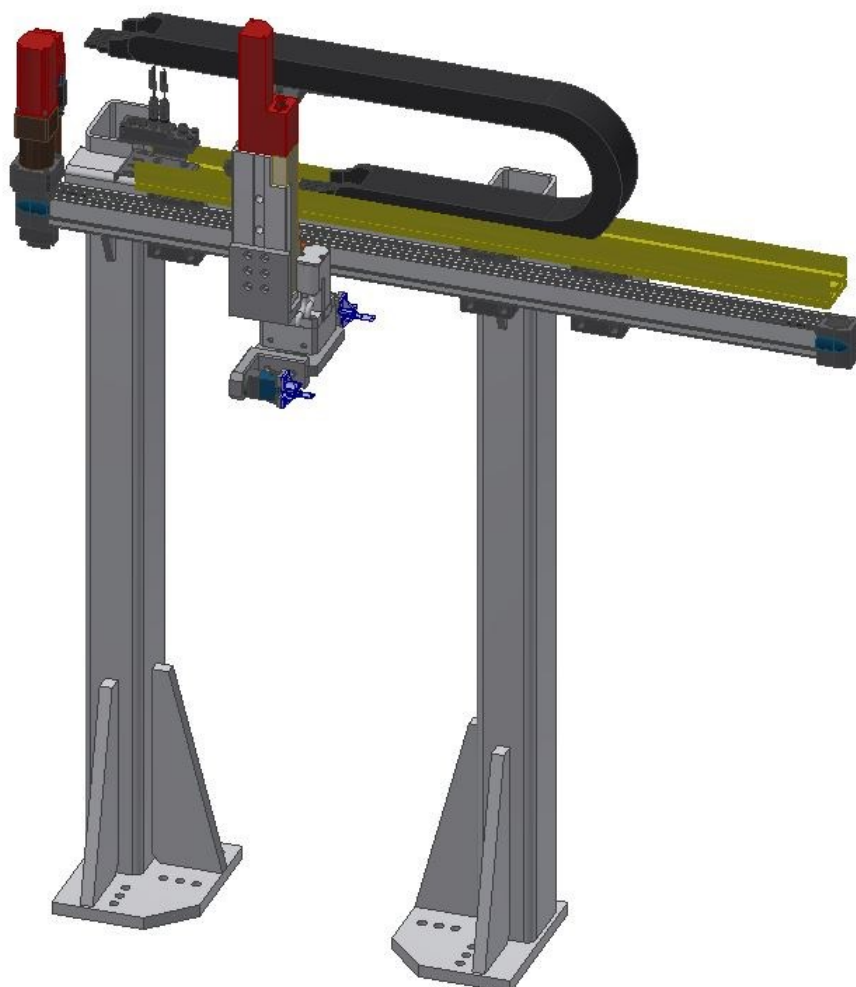


Obr. 38 – Detailní pohled



Obr. 39 – Podavač s vysunutým pneumatickým válcem

### 3.5 Podávací zařízení pro svařování druhé a třetí pozice montážního plechu



Obr. 40 – Univerzální podávací zařízení

Cílem je nahradit dva samostatné pneumatické podavače současného zařízení jedním univerzálním, který bude schopen upnout a manipulovat se dvěma typy montážních plechů. Toho jsem dosáhl kombinací elektromechanických pohonů. Podobně jako první podavač je zde přímočarý pohon od vibračního bubnu ke svařovací pozici, zajištěn jednoosým manipulátorem, který je osazen vhodnou kombinací vedlejších pohonů – viz obr. 40.

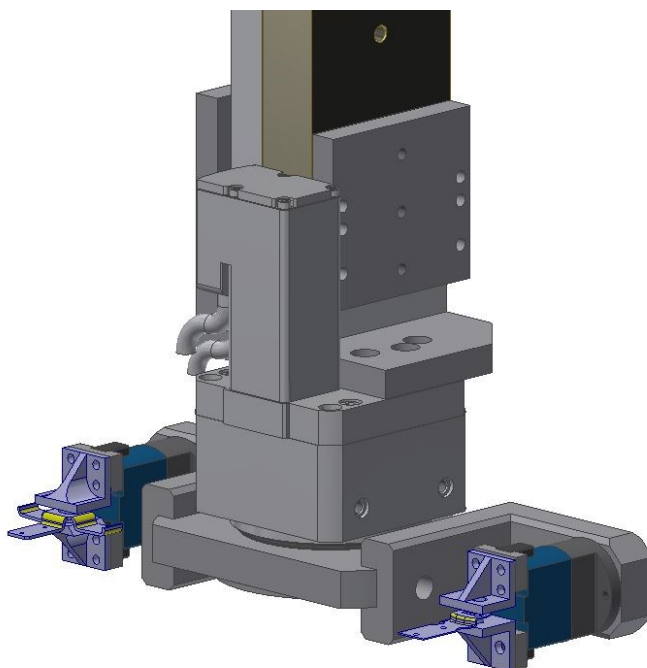
Tab. 3 Parametry jednoosého podavače [1]

<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
Pracovní zdvih	850 mm
Doba přejetí	3 s
Doba cyklu	8 s
Rychlost	1,19 m/s
Typ pohonu	servomotor EMME-AS
Opakovatelná přesnost	$\pm 0,08$ mm

Další pohon jsou stejně jako u prvního podavače výsuvné saně Festo SLTE-16-100. Jejich úkolem je manipulovat se zbylými částmi efektoru během přesunu tak aby nedošlo ke kolizi s jinými prvky konstrukce, jinak řečeno slouží ke kompenzaci výškových rozdílů. Dalším úkolem těchto saní je následné přesné usazení montážního plechu ve svařovací pozici, protože každý z montážních plechů má jinou tloušťku. Z toho důvodu jsem volil pohon se servomotorem.

Na tyto saně je uchycen otočný pohon Festo ERMO 16-ST, který je poháněn krokovým motorem – viz obr. 41. Krokový motor má úhel jednoho kroku  $1,8^\circ$  což při  $360^\circ$  dává 200 nastavitelných pozic při opakovatelné přesnosti  $\pm 0,05$  mm. Nedisponuje takovou variabilitou jako servomotor, ale pro tuto aplikaci je plně dostačující. Důvod využití tohoto otočného pohonu je, aby bylo možné efektozem odebírat montážní plechy ze dvou jinak umístěných vibračních podavačů a také aby bylo možné manipulovat mezi jednotlivými svařovacími pozicemi.

Samotný efektor se skládá ze dvou pneumatických chapadel, dvou držáků tvaru „L“, montážní desky a dvou párů čelistí – viz obr. 41. Kvůli tvarové a rozměrové odlišnosti je každý pár čelistí přizpůsoben danému typu montážního plechu, stejně jako to bylo u čelistí prvního podavače. Z toho důvodu vyplývá, proč jsou na efektoru navrženy, dvě pneumatická chapadla. Ty jsou pak pomocí „L“ držáku přišroubovány a k montážní desce, která je následně přichycena šrouby k pohyblivé části otočného pohonu.



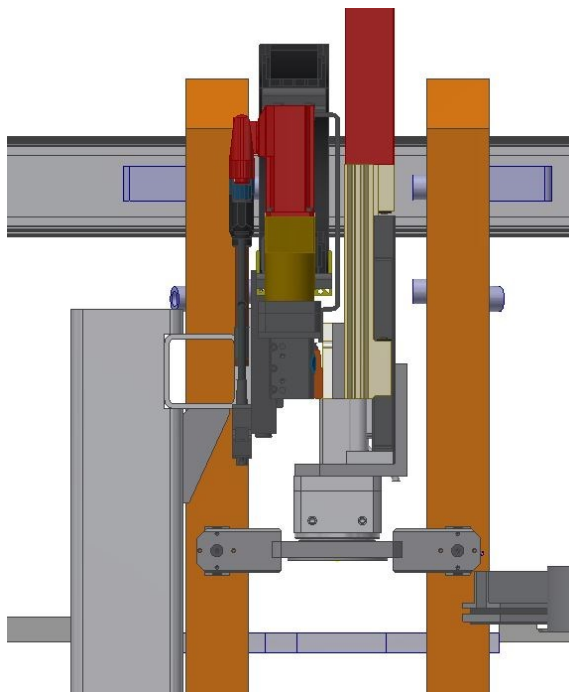
Obr. 41 – Detailní pohled na efektor

Konstrukce podavače je zavěšena na rámu, který jsem navrhoval stejně jako první podavač, až jako poslední. Jde o jednoduchý rám z konstrukční oceli. Příčka, ke které je patkami uchyceno hliníkové tělo jednoosého podavače, je čtvercového průřezu o rozměrech 50x50x3 a délky 680 mm. Podpěry jsou obdélníkového průřezu o rozměrech 90x70x5 mm a délky 950 mm. K základové desce jsou uchyceny montážními plechy. Součástí kotevní části jsou výztuhy v podobě žeber z důvodu větší stability a tuhosti kvůli silám vzniklých setrvačností pohybů od jednoosého podavače.

Protože je tento manipulátor určen pro podávání dvou typů plechů ze dvou bubnů, je zde nutno rozlišit dva různé postupy výroby.

V případě zásobování z bubnu s kratším výstupem, musí být podavač otočen o 30° vůči základací pozici. Toto natočení bubnu a následně i manipulátoru je z důvodu vhodnější manipulace při odebrání. Po odebrání montážního plechu následuje zasunutí elektrických saní a pootočení efektoru do přesouvací polohy, aby mohlo dojít k přejetí jednoosého podavače do svařovací pozice. Zde následuje pootočení otočného pohonu do základací pozice a vysunutí elektrických saní do přesné výšky aby mohlo dojít ke svaření.

Při svařování druhého typu montážního plechu je efektor při odebrání orientován stejně jako při svařování – viz obr 42. Po odebrání plechu, následuje opět zasunutí elektrických saní a otočení efektoru o 90° do pozice pro přejezd jednoosého podavače. Jakmile dojde k přejetí do svařovací polohy, otočný pohon se opět vrátí zpět o 90° a elektrické saně se opět vysunou do adekvátní výšky. Následuje návrat celého podavače do odebírací polohy.



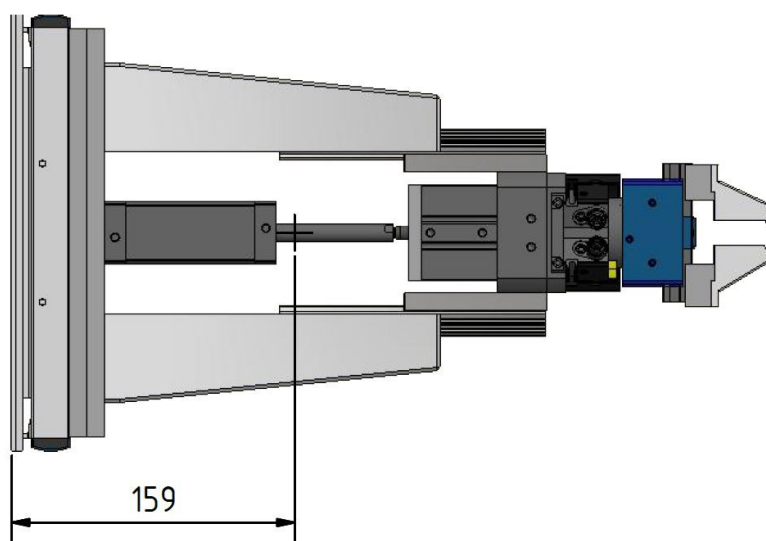
Obr. 42 – Efektor v základací pozici



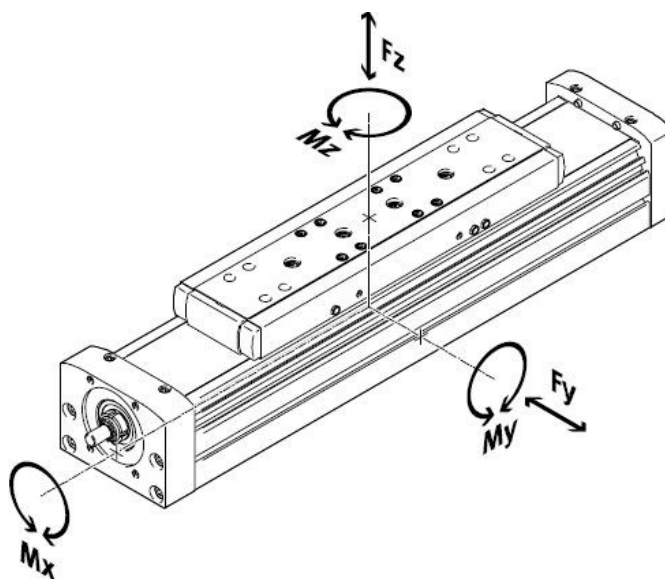
## 4 Pevnostní a kontrolní výpočty

V následujících bodech této kapitoly se budu věnovat kontrolním výpočtům vytipovaných kritických uzlů. V první podkapitole budu kontrolovat, zda jsem nepřekročil dovolené zatížení, kterým je možno zatížit pohyblivé saně. Dále se budu zabývat pevnostní analýzou staticky zatěžovaného rámu. V poslední podkapitole budu řešit kmitání rámu vzniklé od pohybů vertikálních pohonů a jeho následné důsledky.

### 4.1 Kontrolní výpočet zatížení vertikálního pohonu



Obr. 43 – Manipulátor



Obr. 44 – Servopohon se způsoby zatížení

Tab. 4 Dovolená zatížení dle katalogu Festo [1]

Vzdálenost od povrchu saní ke středu vedení			
velikost	70	80	120
rozměr x	[mm] 51	60	87
Max. přípustné síly a momenty při životnosti 5000 km			
velikost	70	80	120
$F_{y\max.}$	[N] 1500	2500	5500
$F_{z\max.}$	[N] 1850	3050	6890
$M_{x\max.}$	[Nm] 16	36	104
$M_{y\max.}$	[Nm] 132	228	680
$M_{z\max.}$	[Nm] 132	228	680

Tento kontrolní výpočet ověřuje, zda nedošlo k překročení maximálního dovoleného zatížení pojezdových saní vertikálního pohonu. Vstupní parametry výpočtu jsou:

Vzdálenost od vedení k těžišti saní  $L = 0,159 \text{ m}$

Hmotnost efektoru  $m = 11 \text{ kg}$

Dovolené momentové zatížení efektoru  $M_{y\max} = 228 \text{ N} \cdot \text{m}$

Gravitační síla  $G = m \cdot g = 11 \cdot 9,81 = 107,9 \text{ N}$

Dimenzování o 20%  $\Rightarrow 107,9 \cdot 20\% = 130 \text{ N}$

Momentové zatížení  $M_y = G \cdot L = 0,159 \cdot 130 = 20,7 \text{ N} \cdot \text{m}$

Kontrolní podmínka  $M_{y\max} \geq M_y$

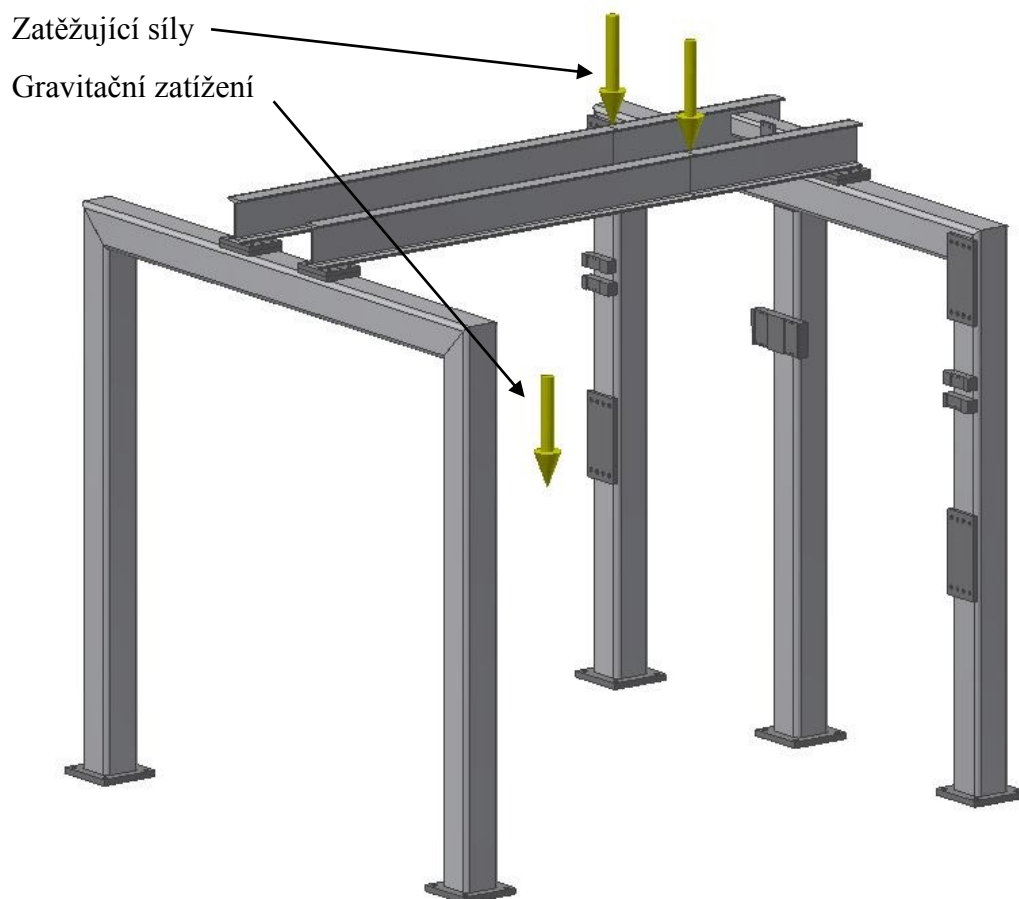
$228 \geq 20,7 \Rightarrow \text{Podmínka splněna}$

## 4.2 Pevnostní kontrola rámu

V této části budu pomocí MKP analýzy, provedenou v SW Autodesk Inventor, vyhodnocovat statické zatížení rámu. Zatížení vzniká od zavěšené svařovací hlavy, která váží 180 kg. Proto jsem se rozhodl k ověření, zda rám je schopen unést tuto hmotnost bez trvalé ztráty tvaru.

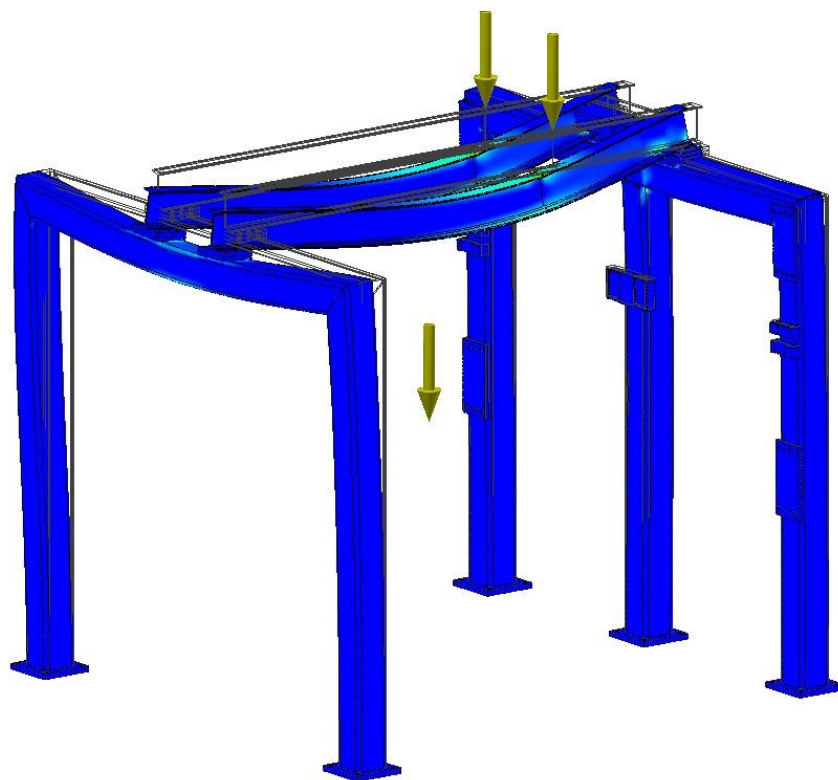
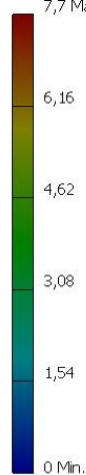
Zatěžující stav jsem vypočítal z hmotnosti a gravitačního zrychlení. Montážní patky jsem definoval jako pevné, protože při následné realizaci počítám s tím, že budou pevně přikotveny k betonové podlaze haly.

Výsledkem mi bylo celkové posunutí 0,1 mm, maximální napětí 7,7 a koeficient bezpečnosti 15. Tyto výsledky považuji za dostatečné k tomu, abych mohl říct, že konstrukce je po statické stránce vhodně dimenzovaná.



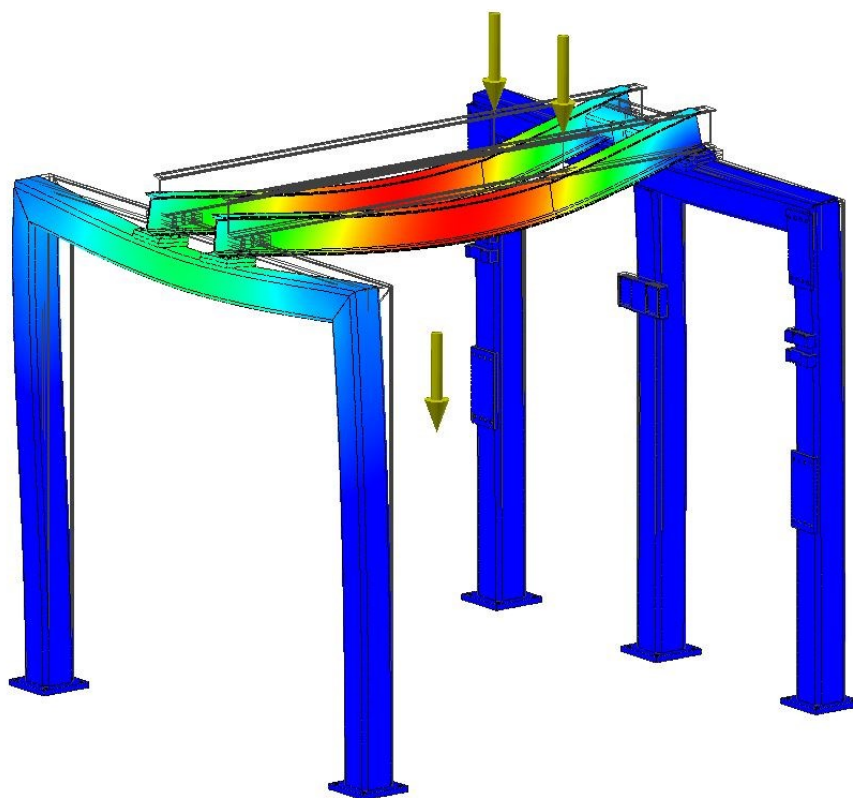
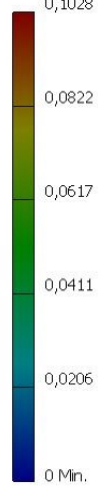
Obr. 45 – Zatížení rámu

Typ: Napětí Von Mises  
 Jednotka: MPa  
 25.3.2018, 17:16:53  
 7,7 Max.



Obr. 46 – Vzniklá napětí na rámu

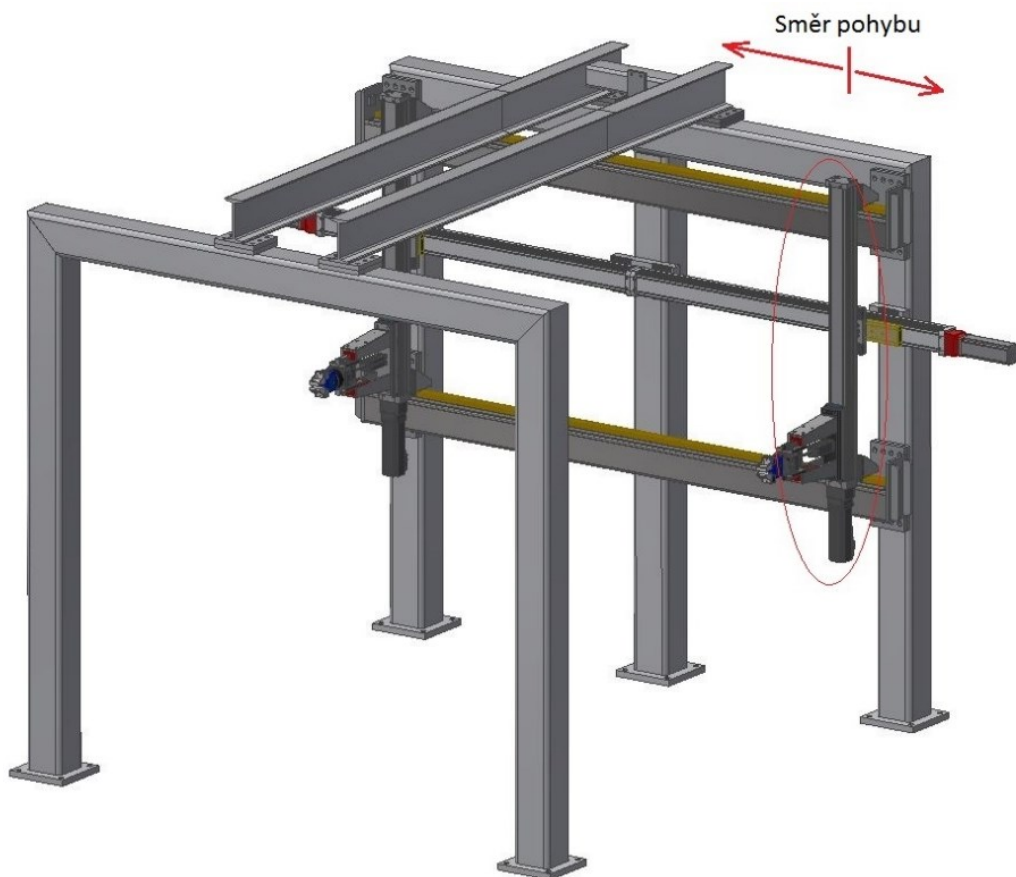
Typ: Posunutí  
 Jednotka: mm  
 25.3.2018, 17:21:44  
 0,1028 Max.



Obr. 47 – Průhyb rámu

### 4.3 Modální analýza rámu

Základní úvahou pro řešení této analýzy je rychlost a zpomalení vodorovného pohonu a setrvačné síly, které musí rám zachytit. Cílem je zde zjistit, zda vzniklé kmity od pohybu servopohonu při dojezdu do koncové polohy nebudou mít negativní vliv na pevnost rámu z dlouhodobého hlediska.

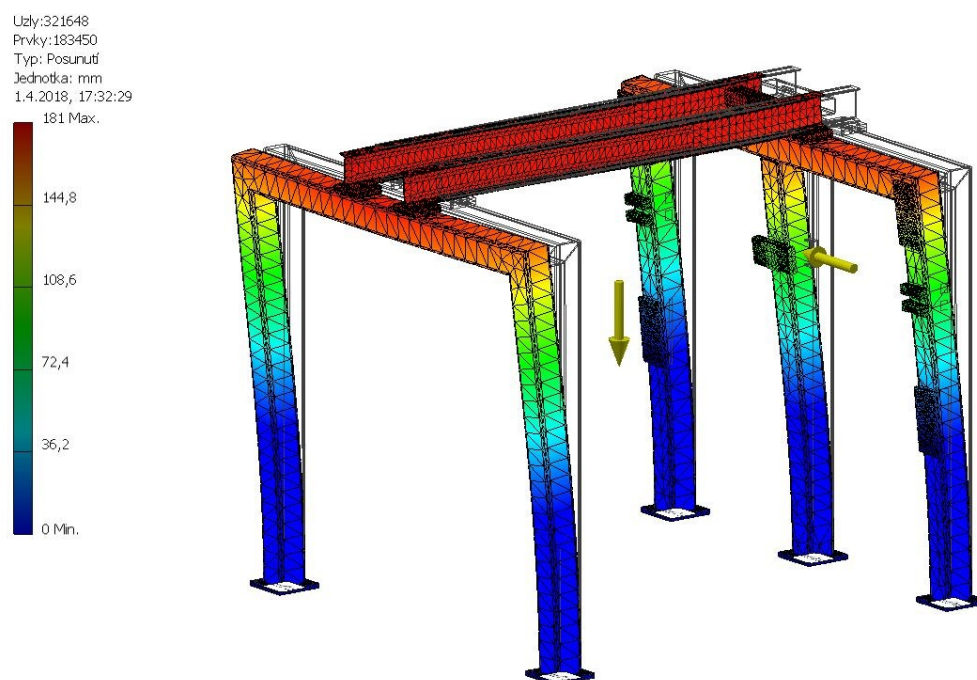


Obr. 48 – Sestava rámu a stáčecího mechanismu

Z obrázku vyplývá, že setrvačné síly budou nejspíše působit ve vodorovném směru, pouze do třech zadních podpěr v místě patkového uchycení pohonu k rámu.

Vstupní parametry analýzy:

- Doba přejetí  $t = 1,3 \text{ s}$
- Max. možné zrychlení pohonu -  $a = 15 \text{ m/s}^2$
- Nejvyšší možná rychlost pohonu -  $v = 1 \text{ m/s}$
- Opakovatelnost pohybu -  $f = 0,1 \text{ Hz}$  (při periodě jednoho cyklu  $T = 10 \text{ s}$ )
- Hmotnost celé pohybující se sestavy -  $m = 26,2 \text{ kg}$
- Vypočítaná brzdová síla při prudkém zastavení pohonu cca -  $F = 500 \text{ N}$  (původní hodnota navýšena o 20% z důvodu dimenzování)

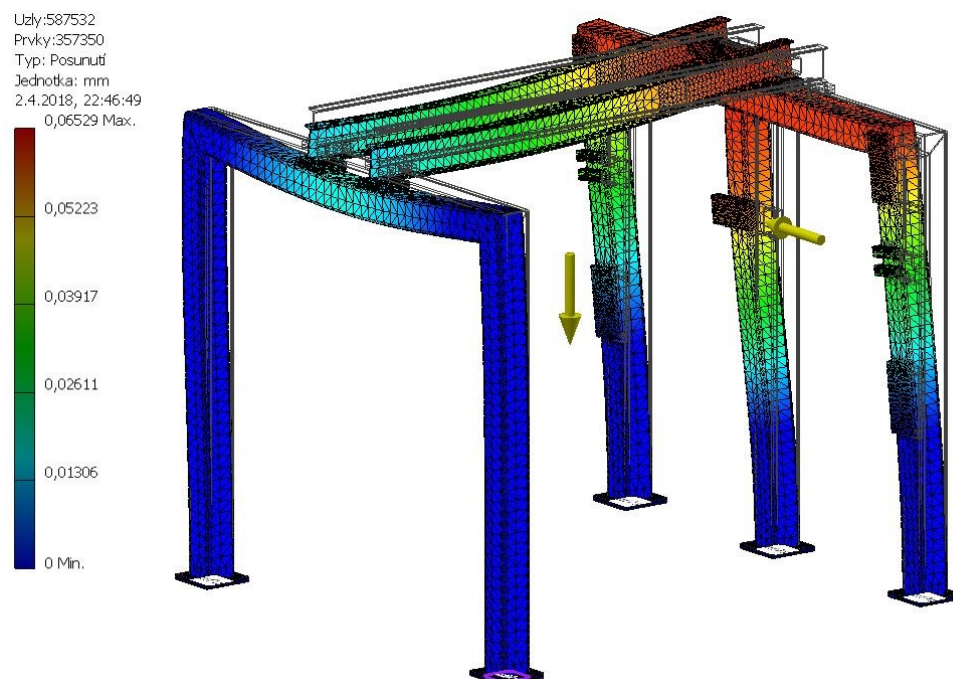


Obr. 49 – Vzniklé deformace při kmitání 25,6 Hz

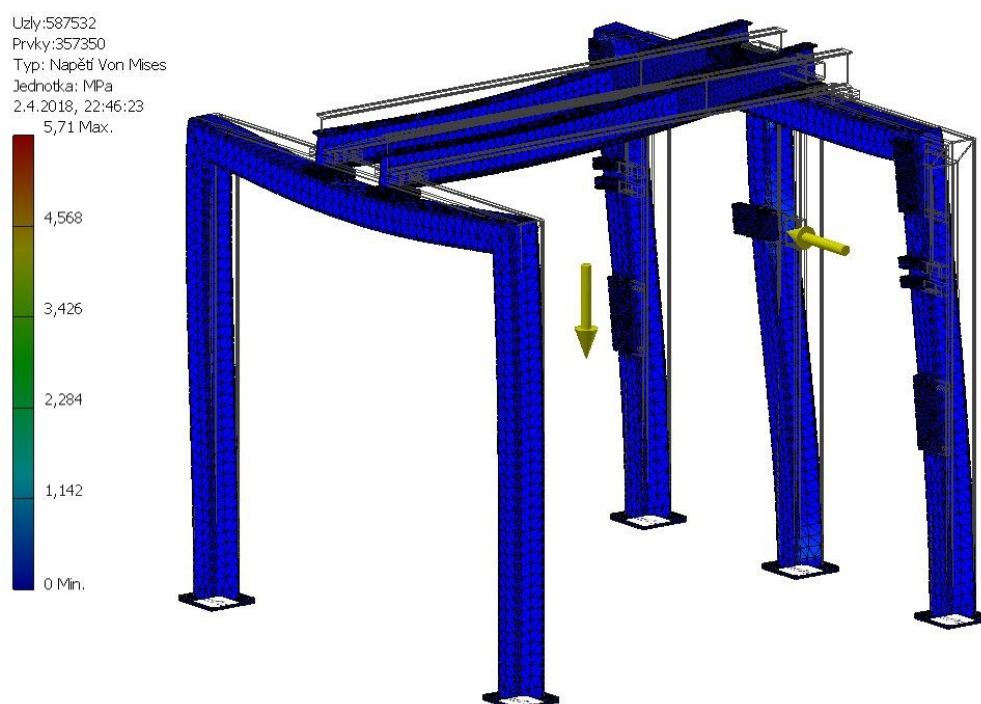
Z výsledků na obrázku výše je patrné, že při rozkmitu na 25,6 Hz dojde ke ztrátě stability tvaru a pravděpodobně i k narušení meze pevnosti. Ke stavu, vyplývající z analýzy však nikdy nedojde, protože dle zadání dojde ke kmitání maximálně 0,1 Hz. Protože jsem se při vyhodnocování získaných informací dopracoval k hodně nízkým hodnotám frekvencí, rozhodnul jsem se tuto analýzu převést na statickou.

Vstupy statické analýzy se od modální nikterak neliší. Přešel jsem pouze z modální analýzy na statickou. Zachoval jsem pevné vazby v montážních patkách a nechal zatížení 500 N v místě uchycení servopohonu k rámu. Výsledky jsou tedy následující:





Obr. 50 – Vzniklé posunutí vlivem působení statické síly



Obr. 51 – Vzniklé napětí vlivem působení statické síly



Maximální výchylka má hodnotu 0,065 mm a maximální možné napětí v rámu je 5,71 MPa. Z výsledků je patrné, že hodnoty vzniklého napětí a průhybu jsou tak nízké, že není nutno ověřovat koeficient bezpečnosti kvůli statické únosnosti. Pokud by došlo k větším výchylkám a většímu napětí, opatřil bych rám bočními výztuhami pro lepší zachycení bočních sil. Dále jsem si ze získaných výsledků analýzy ověřil své tvrzení ze začátku této podkapitoly, že nejvíce budou zatěžovány zadní tři podpěry.

V této kapitole jsem si stanovil za cíl ověřit po pevnostní stránce vytipované kritické uzly. U kontrolního výpočtu zatížení servopohonu jsem ověřil jeho možné zatížení a žádnou kolizi jsem zde neshledal.

## 5 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout zařízení pro stáčení ocelového plechového pásu. Primárním úkolem bylo navrhnout stáčecí mechanismus, který bude schopen stáčet plechový pásek o průměru 600 mm s možností variabilního rozsahu  $\pm 80$  mm. Toho jsem dosáhnul konstrukcí křížového stáčecího mechanismu, který odebírá připravený vstupní materiál z naváděcího žlabu. Stáčecí mechanismus je opatřen servopohony a pneumaticky ovládaným manipulátorem.

Další část práce jsem zaměřil na konstrukční návrh podávacích mechanismů montážních plechů. Úkolem bylo navrhnout podávací zařízení, které by odebíralo montážní plechy od výstupu z vibračního podavače do svařovací pozice. Řešení spočívá ve dvou jednoosých, elektricky ovládaných podavačích. Každý z těchto podavačů je konstrukčně přizpůsoben tak aby mohl pracovat s daným typem montážního plechu.

V neposlední části byla řešena konstrukce rámu. K tomuto nosnému rámu jsem uchytil stáčecí mechanismus a svařovací hlavu. Následovaly kontrolní a pevnostní výpočty tohoto rámu, kde jsem si ověřil jeho statickou bezpečnost.

Všechny tyto úkoly byly splněny a při jejich plnění jsem si ověřil svoje znalosti získané ve výuce. Závěrem lze jen říct, že ačkoliv jsem musel čelit mnoha problémům a komplikacím v průběhu řešení, byla mi tato práce velmi přínosná z praktického hlediska.

## 6 Seznam použité literatury

- [1] Festo Group. *Festo, s.r.o.* [Online] Festo Group. [Citace: 10. 2. 2018.] [www.festo.com](http://www.festo.com).
- [2] Kubíček, J., Daněk, L. a Kandus, B. *Technologie svařování a zařízení*. Plzeň : ŠKOLA WELDING, 2011.
- [3] Plíva, Ladislav. *Odporové svařování*. Praha : SNTL, 1975.
- [4] Hiwin, Motion Control and systems. *Hiwin*. [Online] HIWIN s.r.o. [Citace: 5. 2. 2018.] <http://www.hiwin.cz>.
- [5] MORAVEC, V., HAVLÍK, J. *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005. 300.
- [6] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Úvaly : Albra - Pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-86490-72-2.
- [7] NĚMČEK, M. *Řešené příklady z částí a mechanismů strojů*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2002. ISBN.
- [8] E- konstruktér, portál pro strojní konstruktéry. *E-konstruktér*. [Online] Infinity vision, 2018. [Citace: 15. 1. 2018.] <http://e-konstrukter.cz/novinka/porovnani-pneumatických-hydraulických-a-elektrických-lineárních-pohonů>.
- [9] Trace, Parts. Katalog 3D CAD modelů. *tracepartsonline*. [Online] [Citace: 1. březen 2018.] <http://www.tracepartsonline.net>.

## Seznam příloh

Příloha	Název	Označení	Formát
A	Stáčecí_zařízení	90_07408_000000	A0
B	Stáčecí_mechanismus	90_07408_050000	A2
C	Podavač_1	90_07408_070000	A1
D	Podavač_2	90_07408_080000	A1
E	Rám	90_07408_090000	A1
F	Datový disk DVD		

## Použitý software:

Microsoft Office Word 2016

Microsoft Office Excel 2016

Autodesk Inventor 2017

Na závěr bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Tomáši Kubínovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultace k mojí diplomové práci. Dále bych také chtěl poděkovat panu Ing. Vítu Kostečkovi, jako konzultantovi ze strany zadavatele, za odbornou pomoc a cenné rady.